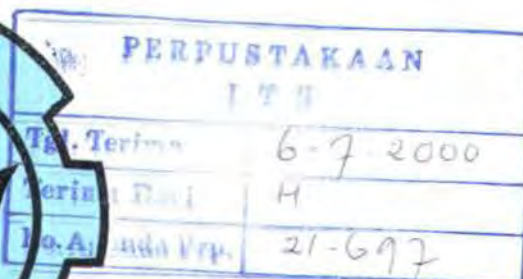


14.880/H/02

TUGAS AKHIR
(OE 1701)

STUDI KESTABILAN PIPA BAWAH LAUT PADA
LAPANGAN PRODUKSI PERTAMINA-ESSO
DI LAUT CINA SELATAN



RSke
665.544
Baw
S-1
1999

Disusun Oleh :

GIRI BAWONONDO
NRP. 43.93.100.017

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1999



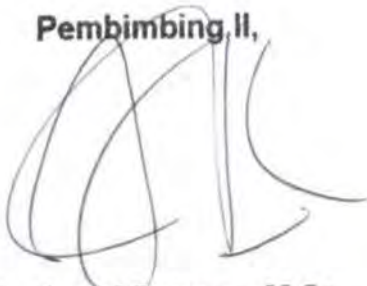
**STUDI KESTABILAN PIPA BAWAH LAUT PADA
LAPANGAN PRODUKSI PERTAMINA-ESSO
DI LAUT CINA SELATAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Menyelesaikan Studi Program Sarjana
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing II,



Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc.
NIP. 131 287 547



Pembimbing I,



Ir. J.J. Soediono, M.Sc.
NIP. 130 359 270

ABSTRAK

Fungsi utama concrete coating adalah sebagai pelindung pipa dari benturan luar dan pemberi berat tambahan pipa agar stabil di dasar laut.

Tebal concrete coating mempengaruhi kestabilan pipa bawah laut karena tebal lapisan tersebut memberikan kontribusi berat yang cukup berarti. Pada tugas Akhir ini menganalisa tebal concrete coating yang memenuhi persyaratan kestabilan untuk pipa Esso di perairan Natuna dengan diameter luar 26 inchi di kedalaman 145 meter dalam tiga kondisi analisa yaitu instalasi, hydrostatic tes, dan operasi dengan mengacu pada peraturan yang ditetapkan oleh Det Norske Veritas (DnV). Berat yang diperhitungkan untuk memenuhi kriteria kestabilan lateral dan vertikal hanya berat coating dan berat baja saja. Analisa dilakukan dengan cara membandingkan antara berat total pipa di dasar laut dengan gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa dengan faktor keamanan sebesar 1.1 dan membandingkan Spesific Gravity (SG) pipa dengan SG sink dan SG float.. Apabila berat total pipa lebih besar daripada gaya hidrodinamis dan SG pipa terletak diantara SG sink dan SG float maka pipa dapat dikatakan stabil. Analisa menghasilkan tebal concrete coating yang memenuhi kriteria untuk tiga kondisi tersebut, yaitu 1.5 inchi untuk densitas 140 pcf dan 1 inchi untuk densitas 160, 190, dan 200 pcf. Untuk keperluan analisa ini ditulis program komputer berbasis Delphi yang digunakan untuk menghitung tebal concrete coating yang memenuhi kestabilan untuk berbagai diameter pipa dan perairan laut. Input data untuk program ini adalah material pipa, densitas gas, arus dan gelombang, kedalaman laut, densitas concrete coating, dan kondisi analisa dengan asumsi dasar laut rata (kemiringannya 0°). Gaya hidrodinamis yang ditinjau adalah gaya ekstrim yang berdasarkan data arus dan data gelombang dan scouring tidak terjadi.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrobbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT. Kalimat inilah yang pantas penulis ucapkan karena penulisan Laporan Tugas Akhir berjudul ***“Studi Kestabilan Pipa Bawah Laut Pada Lapangan Produksi Pertamina-Esso di Laut Cina Selatan”*** ini dapat penulis selesaikan. Semua ini juga tidak lepas dari bantuan, perhatian, serta bimbingan yang begitu besar dari Bapak Ir. J.J. Soedjono, M.Sc. dan Bapak. Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing. Dan tak lupa rasa terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak DR. Ir. Eko Budi Djatmiko bersama seluruh staf pengajar di Jurusan Teknik Kelautan atas bimbingannya kepada penulis. Kepada Bapak Abi Sukanto dari Pertamina Pusat atas bantuan data yang penulis butuhkan.

Laporan Tugas Akhir ini ditulis untuk menyelesaikan Mata Kuliah Tugas Akhir (OE 1701). Dalam laporan ini dijelaskan urutan perencanaan serta hasil perhitungan perencanaan berupa densitas dan ketebalan concrete coating yang memenuhi persyaratan kestabilan. Dengan membandingkan berat total pipa di dasar laut dengan gaya-gaya yang bekerja padanya serta membandingkan antara specific gravity pipa dengan specific gravity sinking dan floatation maka didapat tebal concrete coating yang memenuhi persyaratan kestabilan. Dari hasil perencanaan ini diharapkan dapat dipakai sebagai bahan acuan untuk dan sebagai pembanding teori untuk perencanaan stabilitas pipa bawah laut yang lain.

Pada akhirnya penulis hanya bisa berharap bahwa seluruh pekerjaan ini dapat sepenuhnya bermanfaat dan berguna. Baik bagi penulis pribadi maupun pembaca sekalian.

Surabaya, 19 Januari 1999

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala usaha, peran serta dan bantuan banyak pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir ini adalah sesuatu yang sangat berharga bagi penulis selain karunia, rahmat dan pertolongan Allah SWT. Inilah karya yang selesai atas banyak peran serta bantuan yang tak terhingga. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin sampaikan penghargaan yang setulus-tulusnya dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah, Ibu dan saudara-saudaraku yang selalu memberikan dorongan, kasih dan sayang kepada penulis dari sejak lahir hingga saat ini.
2. Bapak Ir. J.J. Soedjono, M.Sc dan Bapak Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang dengan segala kesabaran dan ketulusannya dalam memberikan bimbingan, serta waktu dan tenaga yang diberikan.
3. Bapak Abi Sukamto dari Pertamina Pusat yang telah banyak memberikan bantuan dan fasilitas kepada penulis.
4. Bapak Dr. Ir. Hartanta Tarigan selaku dosen wali selama penulis menempuh studi di Jurusan Teknik Kelautan ITS, yang senantiasa memberikan arahan akan perjalanan saya di ITS.
5. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Kelautan ITS atas seluruh pengetahuan, ilmu, teknologi serta pengalaman yang telah diberikan.



-
6. Seluruh karyawan di ITS, khususnya di Jurusan Teknik Kelautan atas segala bantuan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis.
 7. Rekan-rekan Jurusan Teknik Kelautan Angkatan 1993, Momo, Harun, Ari, Hermawan, Singgih, Bayu "Betty", Suendro (trimakasih atas diktat Suendranya), Toto', Ardian, Yon, Meti "suku pipi tembem", Rusy, Alfi, Niken, Eko "pekerja", Dodi "mandor", Agus "majikan", dan lain-lain. Terima kasih atas dorongan dan kenangan selama ini.
 8. Kakak-kakak kelasku, Jo, Adi, Dasril, Yeyes, Nerlan, Wasis, Iman, Topik, Bhima, Baron, Ice, dan lain-lain atas bantuan dan dukungannya.
 9. Enthonk atas segala pengertiannya, dukungan moral, dan kesabarannya selama ini.
 10. Alex, Irawan, Benk-Benk, Henry, Suri dan DH, atas persahabatannya sejak dari SMA.
 11. Mas Negari atas ide dan bantuan yang telah diberikan. Terima kasih atas segalanya.
 12. Metha atas persahabatannya sejak dulu. Terima kasih atas "Forgive not Forgotten"-nya.
 13. Seluruh adik-adikku di Kelautan. Terima kasih atas segalanya.
 14. Pihak-pihak lain yang tidak sempat penulis sebutkan disini, dengan tanpa mengurangi rasa hormat.

Tiada yang pantas saya ucapkan sekali lagi adalah beribu terima kasih atas segala yang telah terbantukan kepada saya selama ini.

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	
Abstrak	
Kata Pengantar	iii
Ucapan Terima Kasih	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xi
Daftar Notasi	xii
 BAB I PENDAHULUAN	 I - 1
I.1. Latar Belakang Masalah	I - 1
I.2. Perumusan Masalah	I - 2
I.3. Tujuan	I - 2
I.4. Manfaat	I - 3
I.5. Hipotesis	I - 3
I.6. Metodologi dan Model Analisis	I - 3
I.7. Batasan Masalah	I - 4
 BAB II DASAR TEORI	 II - 1
II.1. Stabilitas Lateral	II - 1

II.1.1. Gaya-Gaya Hidrodinamis Yang Bekerja	
Pada Pipa	II - 4
II.1.1.1. Gaya Inersia	II - 5
II.1.1.2. Gaya Drag	II - 5
II.1.1.3. Gaya Lift	II - 6
II.1.2. Kecepatan Partikel Air	II - 10
II.1.2.1. Kecepatan Partikel Air Karena Arus	
Steady	II - 11
II.1.2.2. Kecepatan Partikel Air Karena	
Pengaruh Gelombang	II - 12
II.1.3. Pemilihan Teori Gelombang	II - 12
II.1.3.1. Asumsi Yang Digunakan	II - 14
II.1.4. Teori Gelombang Stokes Orde Dua	II - 14
II.1.5. Koefisien Gesek Lateral	II - 16
II.2. Stabilitas Vertikal	II - 17
 BAB III ANALISA STABILITAS PIPA	 III - 1
III.1. Keadaan Pipa Saat Analisa	III - 1
III.2. Stabilitas Lateral	III - 2
III.2.1. Data Lingkungan	III - 2
III.2.2. Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena	
Pengaruh Gelombang	III - 3
III.2.3. Perhitungan Kecepatan Partikel Air Akibat	
Arus	III - 4

III.2.4. Perhitungan Gaya Hidrodinamis dan Gaya Gesek Tanah	III - 4
III.2.5. Perhitungan Berat Pipa	III - 5
III.2.6. Data Material Yang Digunakan	III - 6
III.2.7. Syarat Kestabilan Pipa Lateral	III - 7
III.3. Stabilitas Vertikal	III - 8
III.3.1. SG Float	III - 8
III.3.2. SG Sink	III - 8
 BAB IV HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISA	 IV - 1
IV.1. Hasil Perhitungan	IV - 1
IV.2. Analisa Hasil Perhitungan	IV - 9
IV.2.1. Pengaruh Densitas Concrete Coating	IV - 10
IV.2.2. Pengaruh Ketebalan Concrete Coating	IV - 11
 BAB V PENUTUP	 V - 1
V.1. Kesimpulan	V - 1
V.2. Saran	V - 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN - A Diagram Alir Program

LAMPIRAN - B Listing Program Perhitungan On-Bottom Stability

DAFTAR TABEL

- Tabel II.1. Hubungan antara angka Reynold dengan beberapa koefisien
- Tabel II.2. Persamaan umum teori Stokes orde dua
- Tabel II.3. Koefisien gesek dari beberapa jenis tanah
- Tabel II.4. Void ratio dan γ_d dari beberapa jenis tanah
- Tabel II.5. Harga cohesive shear strength
- Tabel III.1. Data lingkungan perairan Natuna yang ditinjau
- Tabel III.2. Rasio antar parameter untuk menentukan teori gelombang
- Tabel IV.1. Ketebalan concrete coating untuk setiap densitas concrete yang memenuhi persyaratan stabilitas

DAFTAR GAMBAR

- Gambar II.1. Gaya-gaya yang bekerja pada pipa di dasar laut
- Gambar II.2. Nilai C_D dari beragam nilai Keulegan-Carpenter
- Gambar II.3. C_D versus angka Reynold
- Gambar II.4. C_L versus angka Reynold
- Gambar II.5. C_L versus angka Reynold untuk beragam nilai Keulegan - Carpenter
- Gambar II.6. C_i versus angka Reynod untuk beragam nilai Keulegan - Carpenter
- Gambar II.7. C_i versus C_D untuk beragam nilai Keulegan-Carpenter
- Gambar II.8. Diagram validitas pemilihan teori gelombang
- Gambar II.9. Kondisi sink dan settlement pada pipa terpendam
- Gambar III.1. Penampang melintang pipa
- Gambar IV.1. Syarat berat pipa saat instalasi
- Gambar IV.2. Syarat berat pipa saat instalasi
- Gambar IV.3. Syarat berat pipa saat Hydrostatic tes
- Gambar IV.4. Syarat berat pipa saat operasi
- Gambar IV.5. Syarat stabilitas pipa terhadap kemungkinan melayang
- Gambar IV.6. Syarat stabilitas pipa terhadap kemungkinan melayang
- Gambar IV.7. Syarat stabilitas pipa terhadap kemungkinan melesak



DAFTAR NOTASI

B	= buoyancy
C	= remolded cohesive shear strength dari tanah, lb/ft ²
c	= dispersion relation akibat gelombang
C _D	= koefisien drag
C _i	= koefisien inersia
C _L	= koefisien lift
C _m	= koefisien massa tambah
D	= Diameter luar pipa, ft
d	= kedalaman laut, ft
du/dt	= percepatan partikel air secara horizontal
e	= angka pori (void ratio)
F _{buoy}	= gaya tekan ke atas per satuan panjang, lb/ft
F _D	= gaya drag per satuan panjang, lb/ft
F _i	= gaya inersia per satuan panjang, lb/ft
F _L	= gaya lift per satuan panjang, lb/ft
F _R	= tahanan gesek tanah per satuan panjang, lb/ft
g	= percepatan gravitasi = 32.185 ft/s ²
H	= tinggi gelombang, ft
k	= wave number
kp	= tingkat kekasaran permukaan pipa
L	= panjang gelombang, ft
N	= gaya normal
R	= ketahanan tanah terhadap floatation atau settlement per unit volume pipa, lb/ft ³
Re	= angka Reynold
S	= faktor keselamatan = 1.1
s	= koordinat vertikal yang dihitung dari dasar laut dengan arah positif ke atas = 0
SG	= spesific gravity
T	= periode gelombang, detik
t	= waktu, detik
U _a	= kecepatan partikel air akibat arus steady dengan arah normal terhadap pipa
U _e	= kecepatan efektif partikel air dengan arah horizontal
U _w	= kecepatan partikel air akibat gelombang dengan arah normal terhadap pipa
U	= kecepatan partikel air pada ketinggian y dari dasar laut, ft/s
U ₀	= kecepatan partikel air (diketahui) pada ketinggian y ₀ dari dasar laut, ft/s
W _{air}	= berat total pipa di udara per satuan panjang, lb/ft
W _{concrete}	= berat concrete coating per satuan panjang, lb/ft
W _{corr}	= berat lapisan anti korosi per satuan panjang, lb/ft
W _{isi}	= berat isi pipa per satuan panjang, lb/ft

W_{steel}	= berat material pipa di udara per satuan panjang, lb/ft
W_{sub}	= berat total pipa di dalam air per satuan panjang, lb/ft
α	= kemiringan tanah dasar laut
μ	= koefisien gesek lateral antara pipa dengan tanah
ν	= viskositas kinematik air
π	= 3.141592654
ρ	= massa jenis air laut
ω	= frekuensi angular dari gelombang
θ	= sudut fase gelombang
ϕ	= velocity potential gelombang
η	= surface elevation gelombang
ξ	= horizontal particle displacement akibat gelombang
τ	= soil shear resistance to pipe movement
γ_d	= berat unit kering tanah
γ_w	= berat unit air

BAB I

P E N D A H U L U A N

I.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Perkembangan pembangunan pipa penyalur minyak dan gas bumi di Indonesia terus bertambah seiring kebutuhan energi minyak dan gas bumi. Pembangunan konstruksi pipa penyalur minyak dan gas bumi harus mengacu pada Standard/Code Internasional atau nasional untuk menjamin mutu konstruksi yang dapat menjamin keamanan dan keselamatan kerja. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 11 Tahun 1979 Tentang Keselamatan Kerja Pada Pemurnian Dan Pengolahan Minyak Dan Gas Bumi mensyaratkan dalam Bab X Pasal 22 bahwa : "Pemasangan dan Penggunaan pipa penyalur beserta perlengkapannya kecuali pipa penyalur uap air yang bergaris tengah lebih dari 450 (empat ratus lima puluh) milimeter, harus memenuhi syarat-syarat sebagaimana tercantum dalam Standard yang diakui oleh Menteri".

Lapangan gas Natuna, yang ditemukan pada tahun 1973, berada pada laut Natuna yang berjarak kira-kira 225 kilometer sebelah Timur Laut pulau Natuna dengan kedalaman laut 145 meter. Kapasitas produksi gas hidrokarbon di dalam reservoir diperkirakan 45 triliun cubic feet. Unit pengolahan LNG akan dibangun di pulau Natuna. Contoh gas Natuna mengandung 71% karbondioksida, 28% metana, 0.5% Hidrogen Sulfida

(H₂S) dan kira-kira 0.5% Nitrogen (N₂). Direncanakan sebanyak 2.4 billion kubik feet per hari gas Hidrokarbon disalurkan ke unit pengolahan LNG di pulau Natuna dengan menggunakan pipa penyalur di bawah laut (subsea pipeline). Hal ini membutuhkan perencanaan kestabilan pipa yang sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada menurut Standard/Code yang berlaku agar pipa dapat beroperasi dengan aman.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Bagaimana pipa penyalur gas dapat beroperasi dengan kestabilan yang baik tanpa mengalami kegagalan dengan kondisi lingkungan yang ada ?

1.3. TUJUAN

Tujuan dari analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui tebal concrete coating yang memenuhi syarat kestabilan untuk pipa bawah laut milik Esso di perairan Natuna dengan diameter 26 inchi di kedalaman 145 meter pada kondisi lingkungan laut yang ekstrim.
 2. Menghasilkan program komputer yang dapat digunakan untuk menentukan tebal concrete coating yang memenuhi syarat kestabilan untuk berbagai diameter pipa dan perairan laut dengan input data material pipa, data gelombang, arus, dan kedalaman laut, data densitas
-

concrete coating, serta data kondisi analisa dengan asumsi dasar laut rata (kemiringannya 0°), gaya hidrodinamis merupakan gaya ekstrim yang berdasarkan data arus dan data gelombang, dan scouring tidak terjadi.

1.4. MANFAAT

Dari analisa ini, tebal concrete coating yang memenuhi syarat kestabilan dapat ditentukan dengan menggunakan program komputer berbahasa Delphi dengan input data material pipa, data gelombang, arus, dan kedalaman laut, data densitas concrete coating, serta data kondisi analisa dengan asumsi dasar laut rata (kemiringannya 0°), gaya hidrodinamis merupakan gaya ekstrim yang berdasarkan data arus dan data gelombang, dan scouring tidak terjadi.

1.5. HIPOTESIS

Parameter arus laut, gelombang laut, tanah dasar laut, kedalaman laut, spesifikasi concrete coating berpengaruh terhadap perhitungan kestabilan dari struktur pipa penyalur.

1.6. METODOLOGI DAN MODEL ANALISIS

Pipa di dasar laut hanya mengandalkan berat total pipa untuk mencapai stabilitas baik secara lateral maupun secara vertikal. Analisa

gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa dilakukan menurut Det Norske Veritas (DnV) 1996 section 5, D.308. Analisa stabilitas tanah terhadap pipeline dilakukan, khususnya untuk settlement dan floatation sesuai dengan DnV 1996 section 5, D.304 - D.307. Hasil akhir dari analisa ini adalah untuk mendapatkan spesifikasi concrete coating tertentu yang dapat menyebabkan pipa dalam kondisi stabil.

1.7. BATASAN MASALAH

Analisa kestabilan pipa bawah laut dibatasi sampai dengan hal-hal berikut ini :

1. Penentuan route pipa tidak dilakukan. Analisa dilakukan untuk memperoleh disain pipa dengan kestabilan yang aman pada lapangan produksi Pertamina-Esso di Laut Cina Selatan. Di asumsikan dasar laut rata (kemiringannya 0°).
2. Data lingkungan untuk lapangan produksi Pertamina-Esso belum dikeluarkan secara resmi sehingga pada analisa ini digunakan data lingkungan lapangan natuna yang telah ada.
3. Analisa dilakukan mengacu pada ketentuan-ketentuan yang ditetapkan dalam Standard dan Code yang berlaku, yaitu DnV 1996.
4. Analisa dilakukan hanya pada satu kedalaman laut, yaitu pada kedalaman 145 m.



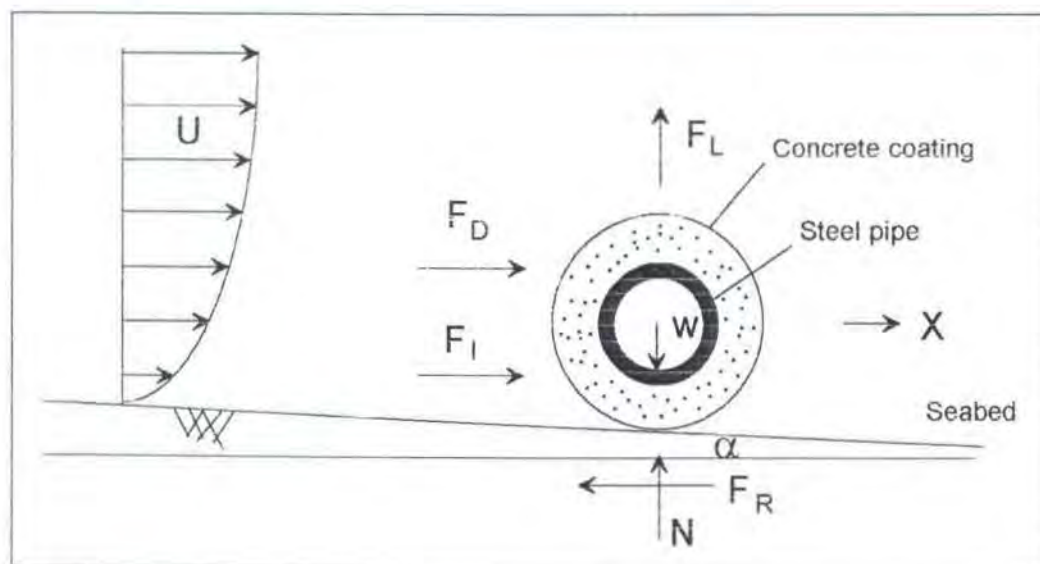
5. Kestabilan pipa hanya dipengaruhi oleh gaya hidrodinamis yang bekerja padanya. Gaya hidrodinamis yang ditinjau merupakan gaya ekstrim yang berdasarkan data arus dan data gelombang perairan Natuna.
 6. Scouring tidak terjadi ..
-

BAB II

DASAR TEORI

II.1. STABILITAS LATERAL

Pada saat meletak di dasar laut, pipa akan menerima gaya-gaya luar yang merupakan efek dari arus dan gelombang. Macam-macam gaya yang bekerja pada pipa dapat dilihat pada free body diagram untuk penampang melintang pipa sebagai berikut :



Gb. II.1. Gaya-gaya yang bekerja pada pipa di dasar laut (A.H. Mouselli, ref.(4))

Keterangan :

W_{sub} = berat total pipa terbenam, termasuk concrete coating, corrosion coating, dan isi pipa

- F_D = gaya drag
 F_I = gaya inersia
 F_L = gaya lift
 N = gaya normal
 F_R = tahanan gesek tanah
 α = kemiringan dasar laut

Untuk memenuhi persyaratan kestabilan pipa yang baik maka seluruh gaya yang bekerja pada pipa harus memenuhi persamaan kesetimbangan statis (A.H. Mouselli, ref. (4)), sebagai berikut :

- **Kesetimbangan gaya horizontal :**

$$F_D + F_I + F_R - W_{sub} \sin \alpha = 0 \quad (II.1)$$

- **Kesetimbangan gaya vertikal :**

$$N + F_L - W_{sub} \cos \alpha = 0 \quad (II.2)$$

Tahanan gesek lateral (F_R) dapat dihubungkan dengan gaya normal (N) dengan cara sebagai berikut :

$$F_R = \mu N \quad (II.3)$$

dimana :

μ = koefisien gesek lateral antara pipa dengan tanah

Persamaan (II.1) dan (II.2) dapat digabung dengan menggunakan persamaan (II.3) menjadi :

$$F_D + F_i + \mu(F_L - W \cos \alpha) = W \sin \alpha \quad (II.4)$$

Dari persamaan ini, berat total struktur pipa termasuk fluida di dalam pipa dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W_{sub} = \frac{F_D + F_i + \mu F_L}{\mu \cos \alpha + \sin \alpha} \quad (II.5)$$

Bila kemiringan tanah $\alpha = 0$, maka persamaan (II.5) menjadi sebagai berikut :

$$W_{sub} = F_L + \frac{1}{\mu} (F_D + F_i) \quad (II.6)$$

Agar memenuhi persyaratan stabilitas lateral pipa maka gaya gesek akibat interaksi pipa dengan tanah harus lebih besar dari kombinasi gaya drag dan inersia, minimal 10% menurut DnV (ref. (3)), sehingga persamaan (II.6) menjadi :

$$(W_{sub} - F_L) \mu \geq (F_D + F_i) S \quad (II.7)$$

dimana :

S = Faktor keselamatan ≥ 1.1



II.1.1. Gaya-Gaya Hidrodinamis Yang Bekerja Pada Pipa

Akibat adanya gerakan relatif antara pipa dengan air disekitarnya, maka gaya-gaya hidrodinamis akan bekerja pada pipa. Perhitungan gaya-gaya hidrodinamis menggunakan komponen kecepatan dan percepatan relatif partikel air yang disebabkan oleh gelombang dan arus laut. Pada perhitungan ini, diasumsikan arus adalah arus steady, sehingga percepatan partikel air karena arus laut sama dengan nol. Gaya-gaya hidrodinamis yang ditinjau pada kasus ini adalah gaya inersia, gaya drag, dan gaya lift.

Salah satu hal penting yang perlu dilakukan dalam perhitungan gaya-gaya hidrodinamis adalah menentukan koefisien hidrodinamis yaitu koefisien inersia, koefisien drag, dan koefisien lift. Penentuan koefisien-koefisien tersebut tergantung dari hal-hal berikut ini (A.H. Mouselli, ref. (4)) :

- Reynold Number, $Re = \frac{UeD}{\nu}$
- Keulegan-Carpenter Number, $Kc = \frac{UeT}{D}$
- Kekasaran permukaan pipa, $= \frac{k_p}{D}$

dimana :

D = diameter pipa

T = periode gelombang

k_p = tingkat kekasaran permukaan pipa

Ue = kecepatan horizontal efektif partikel air

ν = viskositas kinematik air

II.1.1.1. Gaya Inersia

Gaya inersia per satuan panjang pipa dinyatakan dalam formula sebagai berikut (A.H. Mouselli, ref. (4)) :

$$F_i = \rho C_i \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \frac{dU}{dt} \quad (II.8)$$

dimana :

F_i = gaya inersia per satuan panjang

C_i = koefisien inersia = $C_m + 1$ (C_m = koefisien massa tambah)

dU/dt = percepatan horizontal partikel air

Harga C_i bisa diambil dari beberapa referensi yang ditentukan secara empiris, baik melalui percobaan di laboratorium atau pengujian beberapa parameter secara langsung di lapangan. Biasanya harga C_i bervariasi tergantung pada besarnya Reynold number.

II.1.1.2. Gaya Drag

Gaya drag per satuan panjang pipa dapat dinyatakan dalam formula sebagai berikut (A.H. Mouselli, ref. (4)) :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2 \quad (II.9)$$

dimana :

F_D = gaya drag per satuan panjang

ρ = massa jenis air laut

C_D = koefisien drag

D = diameter pipa

U_e = kecepatan horizontal efektif partikel air

Seperti halnya dengan penentuan harga C_i , harga C_D bisa diambil dari beberapa referensi yang ada. Biasanya harga C_D bervariasi tergantung dari Reynold number, kekasaran permukaan pipa, dan Keulegan-Carpenter number.

II.1.1.3. Gaya Lift

Gaya lift per satuan panjang pipa dapat dinyatakan dalam formula sebagai berikut (A.H. Mouselli, ref. (4)) :

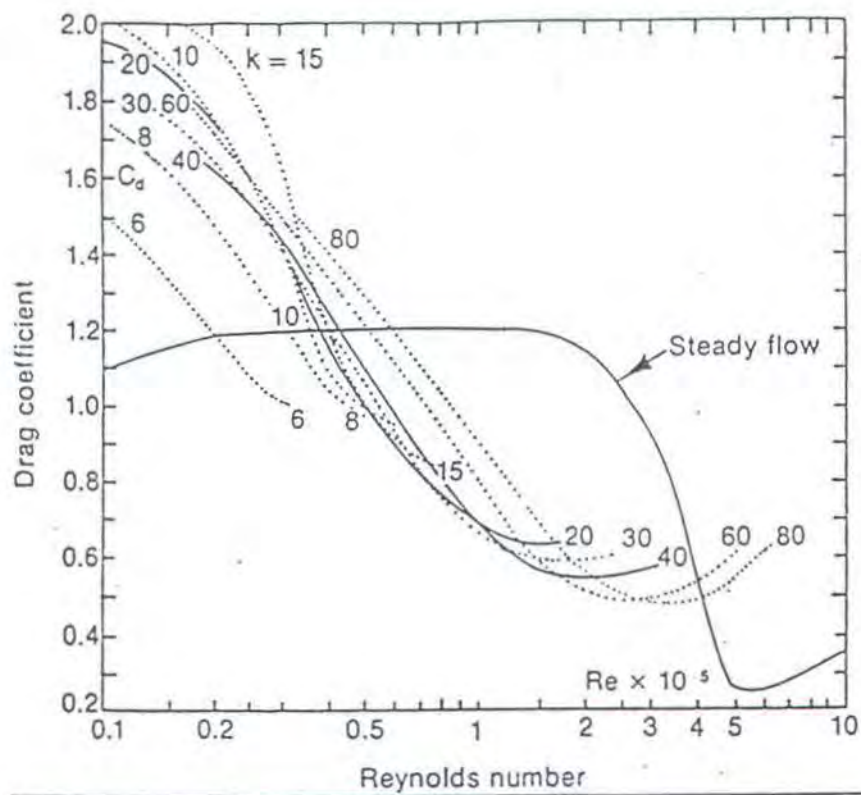
$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2 \quad (II.10)$$

dimana :

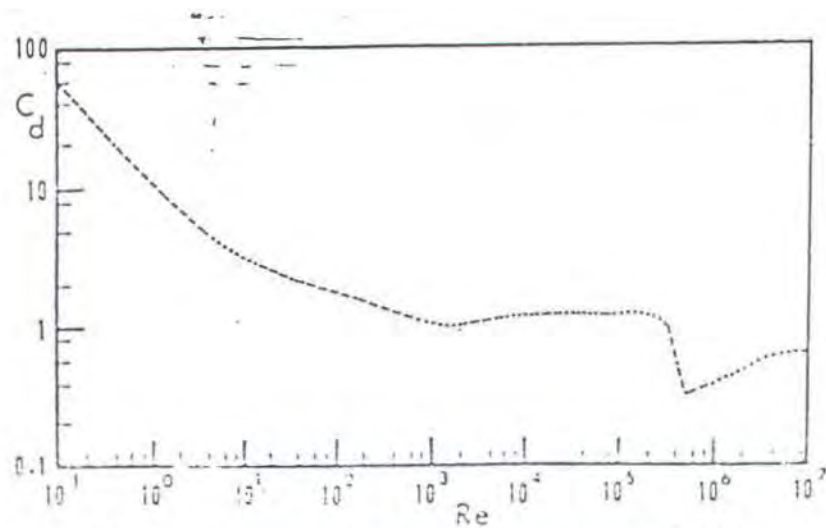
F_L = gaya lift per satuan panjang

C_L = koefisien lift

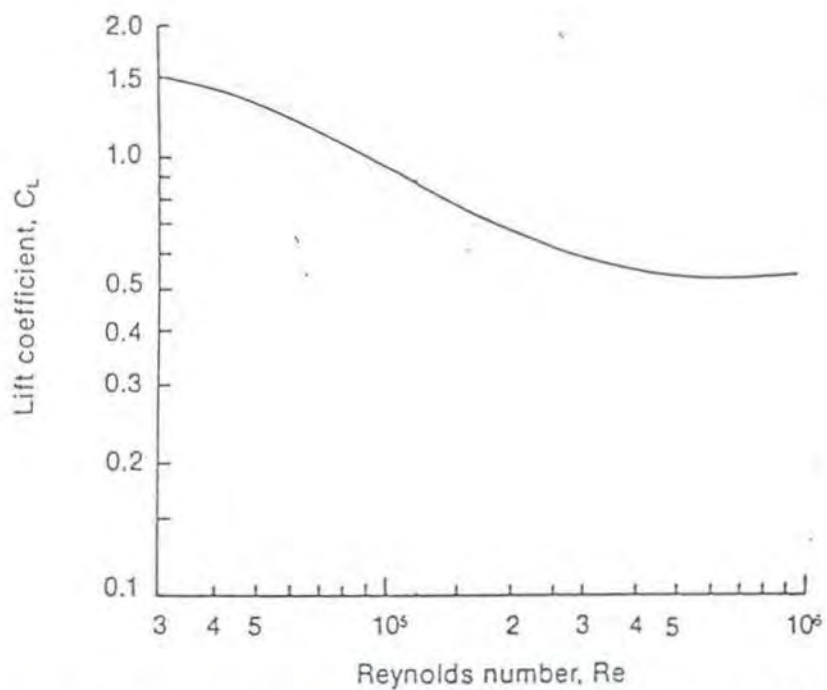
Harga koefisien lift dapat diambil dari referensi-referensi yang ada.



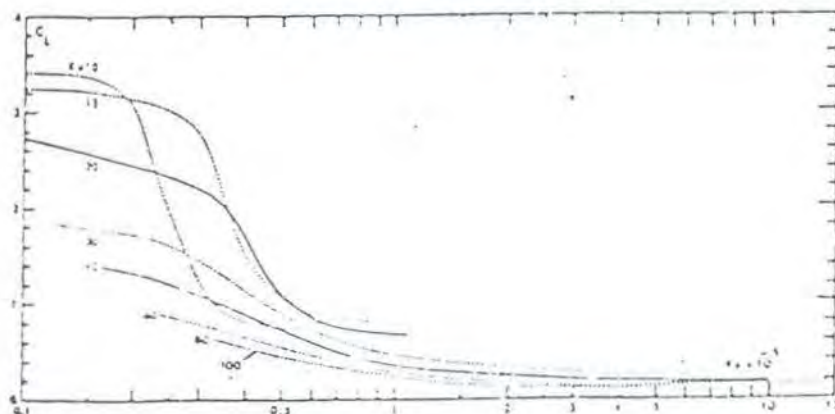
Gambar II.2. Nilai C_D dari beragam nilai Keulegan-Carpenter (A.H. Mouselli, ref.(4)).



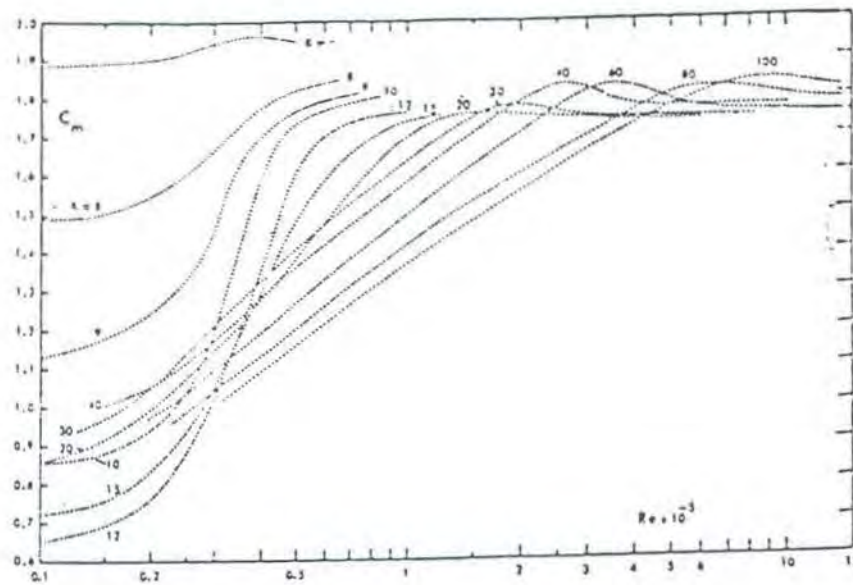
Gambar II.3. C_D versus angka Reynold (Sarpkaya, ref. (5)).



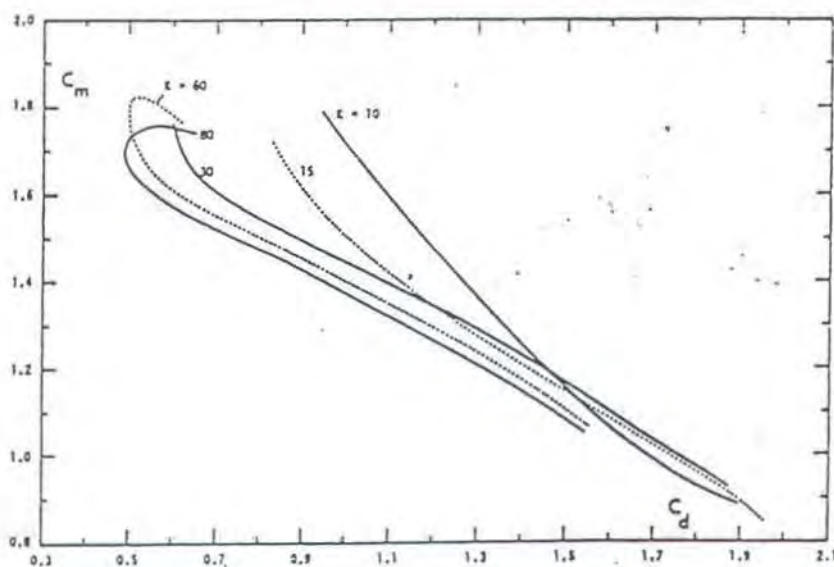
Gambar II.4. C_L versus angka Reynold (A.H. Mouselli, ref. (4)).



Gambar II.5. C_L versus angka Reynold untuk beragam nilai Keulegan - Carpenter (Sarpkaya, ref. (5)).



Gambar II.6. C_m versus angka Reynold untuk beragam nilai Keulegan - Carpenter (Sarpkaya, ref. (5)).



Gambar II.6. C_m versus C_D untuk beragam nilai Keulegan-Carpenter (Sarpkaya, ref. (5)).

Harga koefisien drag, lift, dan inersia yang disarankan oleh A.H. Mouselli dalam perhitungan gaya-gaya hidrodinamis dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Re	C_D	C_L	C_i
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.2	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0,7	0,7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$5.0 \times 10^5 < Re$	0.7	0.7	1.5

Tabel II.1. Hubungan angka Reynold dengan beberapa koefisien (A.H.

Mouselli, ref. (4))

II.1.2. Kecepatan Partikel Air

Kecepatan partikel air dalam perhitungan gaya-gaya hidrodinamis merupakan kombinasi dari gelombang dan arus, yang harus diperhatikan berdasarkan kedalaman. Hal ini dinyatakan dalam formula sebagai berikut :

$$U_e = U_w + U_a$$



(II.11)

dimana :

U_w = kecepatan partikel air akibat gelombang, normal terhadap pipa

U_a = kecepatan partikel air akibat arus steady, normal terhadap pipa

II.1.2.1. Kecepatan Partikel Air Karena Arus Steady

Kecepatan arus di permukaan dengan kecepatan arus di dasar laut memiliki harga yang berbeda. Dalam perhitungan stabilitas kali ini, yang digunakan adalah kecepatan efektif dari arus yang dapat dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$U_e^2 = \frac{1}{D} \int_0^D U^2(y) dy \quad (II.12)$$

Dengan menggunakan 1/7th power law , kita dapat memperkirakan kecepatan partikel air, U :

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{y}{y_0} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (II.13)$$

dimana :

U = kecepatan partikel air pada ketinggian y dari dasar laut , ft/sec

U₀ = kecepatan partikel air (diketahui) pada ketinggian y₀ dari dasar laut, ft/sec

Apabila persamaan (II.13) dimasukkan ke dalam persamaan (II.12) maka diperoleh :

$$U_e^2 = 0.778 U_0^2 \left(\frac{D}{y_0} \right)^{0.286} \quad (II.14)$$

Arah arus yang diasumsikan dalam perhitungan ini adalah normal terhadap pipa.

II.1.2.2. Kecepatan Partikel Air Karena Pengaruh Gelombang

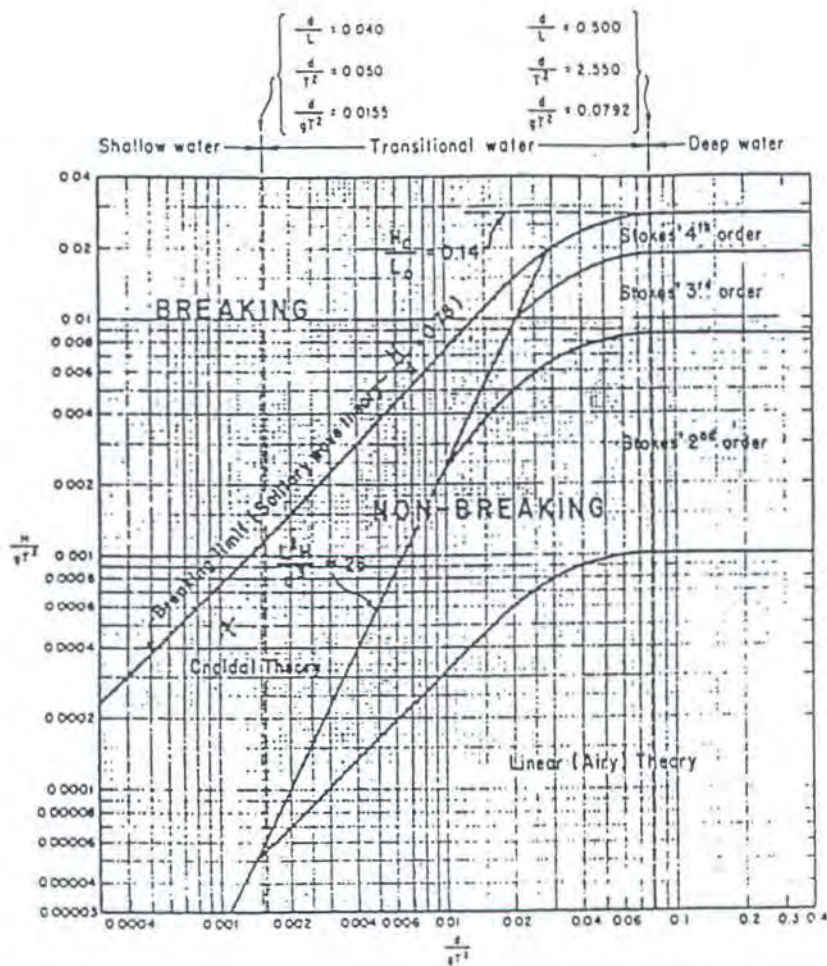
Kecepatan partikel air karena pengaruh gelombang menggunakan teori gelombang yang berlaku. Pemilihan teori gelombang dapat dilakukan menurut diagram validitas teori gelombang. Diasumsikan juga bahwa arah gelombang adalah normal terhadap pipa.

II.1.3. Pemilihan Teori Gelombang

Teori gelombang pada umumnya terbagi menjadi 2 bagian, yaitu teori gelombang linier dan teori gelombang non linier. Pada kelompok teori gelombang linier, yang sering digunakan dalam perhitungan hidrodinamika adalah teori gelombang Airy. Teori gelombang ini berlaku untuk gelombang yang memiliki amplitudo yang kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang dan kedalaman laut. Untuk pendekatan awal, teori ini telah mencukupi.

Pada kelompok teori gelombang non linier, yang sering digunakan adalah teori gelombang Stokes dan teori Cnoidal. Teori Stokes memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan teori Airy tetapi jarang digunakan dalam proses engineering karena proses perhitungannya lebih banyak. Sedangkan teori Cnoidal dipakai untuk analisa hidrodinamika pada laut dangkal.

Penentuan teori gelombang yang akan dipakai dapat menggunakan diagram validitas teori gelombang sesuai dengan daerah perairan yang ditinjau.



Gambar II.8. Diagram validitas pemilihan teori gelombang (Sarpkaya, ref.(5))

II.1.3.1. Asumsi Yang Digunakan

Pada perhitungan ini diasumsikan perairan memiliki dasar laut yang rata dan memiliki kemiringan 0° . Perhitungan dilakukan pada satu kedalaman laut saja.

Dengan menggunakan diagram validitas (A.H. Mouselli, ref. (4)) maka teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Stokes orde dua.

II.1.4. Teori Gelombang Stokes Orde Dua

Stokes mengembangkan penelitian tentang mekanika gelombang air dengan tinggi berhingga. Potensial kecepatan gelombang dijabarkan sebagai suatu deret matematis dengan menggunakan metode perturbasi sebagai berikut :

$$\phi = \varepsilon + \varepsilon\phi_1 + \varepsilon^2\phi_2 + \dots \quad (\text{II.15})$$

Penyelesaian dari teori Stokes orde dua dapat dilihat sebagai berikut (Sarpkaya, ref. (5)) :

Persamaan Umum	
Velocity Potential	$\phi = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin \theta$ $+ \frac{3}{8} \frac{\pi H}{kT} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \sin 2\theta$
Dispersion relation	$c^2 = \frac{\omega^2}{k^2} = \frac{g}{k} \tanh(kd)$

	$\eta = \frac{H}{2} \cos \theta$
Surface elevation	$+ \frac{H}{8} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(kd)}{\sinh^3(kd)} [2 + \cosh(2kd)] \cos 2\theta$
	$\xi = -\frac{H}{2} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin \theta$
Horizontal particle displacement	$+ \frac{H}{8} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{1}{\sinh^2(kd)} \left[1 - \frac{3 \cosh(2ks)}{2 \sinh^2(kd)} \right] \sin 2\theta$ $+ \frac{H}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^2(kd)} (\omega t)$
Horizontal particle velocity	$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \cos \theta$ $+ \frac{3}{4} \frac{\pi H}{T} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \cos 2\theta$
Horizontal particle acceleration	$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin \theta$ $+ \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \sin 2\theta$

Tabel II.2. Persamaan umum teori Stokes orde dua (Sarpkaya, ref. (5))

Koordinat vertikal $s = z + d$, dihitung dari dasar laut dengan arah positif ke atas. Jika $s = 0$ maka posisi berada di dasar laut dan jika $s = d$ maka posisi berada pada still water level (SWL). Parameter-parameter lain yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Panjang gelombang :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (\text{II.16})$$

- Frekuensi angular gelombang :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{II.17})$$

- Wave number :

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (\text{II.18})$$

II.1.5. Koefisien Gesek Lateral

Gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa menyebabkan pipa mengalami pergeseran letak sehingga antara permukaan pipa dengan tanah dasar laut bekerja gaya tahanan untuk menahan pergeseran pipa. Besarnya gaya tahanan dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$F_R = \mu N \quad (II.19)$$

dimana :

μ = koefisien gesek

N = gaya normal

Harga μ dipengaruhi faktor permukaan pelapis pipa, karakteristik tanah dasar laut, dan kedalaman lesakan pipa ke dalam tanah (A.H. Mouselli, ref. (4)).

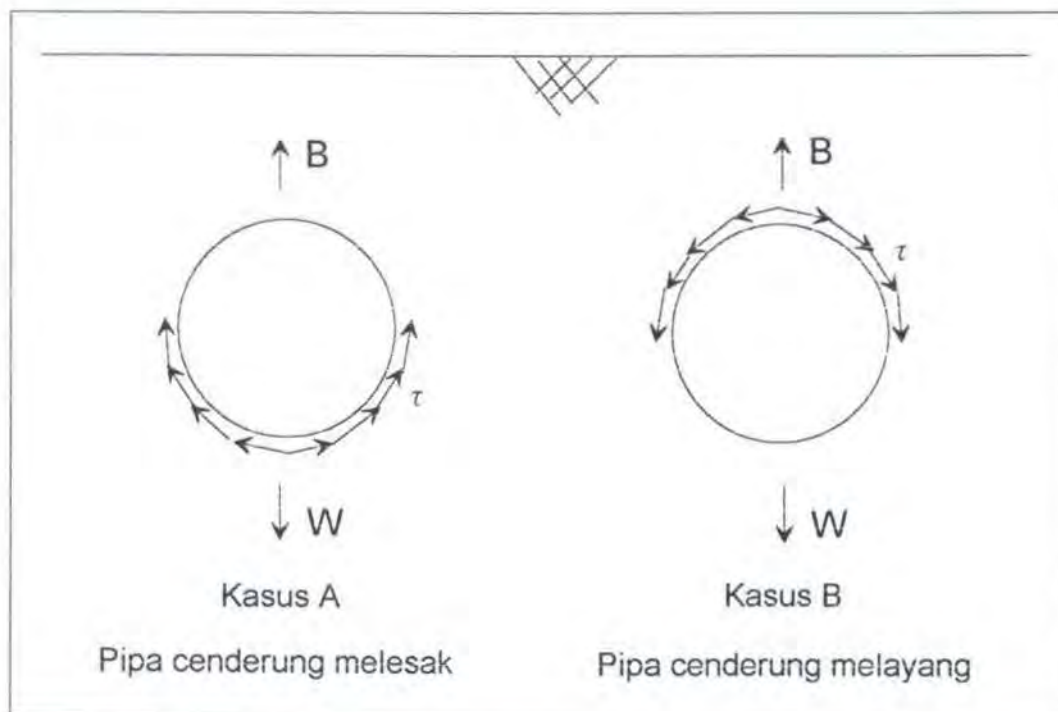
A.H. Mouselli kemudian memberikan range 0.5 - 0.9 untuk harga koefisien gesek tergantung pada pelapis pipa dan jenis tanah. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Jenis Tanah	Koefisien Gesek
Tanah Liat	0.3 - 0.6
Pasir	0.5 - 0.7
Kerikil	0,5

Tabel II.3. Koefisien gesek dari beberapa jenis tanah (A.H. Mouselli, ref. (4))

II.2. STABILITAS VERTIKAL

Perhitungan stabilitas vertikal dimaksudkan untuk memeriksa kemungkinan terjadinya peristiwa melayang atau melesak pada pipa. Peristiwa ini dapat terjadi tergantung dari berat pipa (termasuk isi), densitas tanah, dan undrained shear strength dari tanah (A.H. Mouselli, ref. (4)).



Gb. II.2. Kondisi sink dan floatation pada pipa terpendam (A.H. Mouselli, ref.(4))

keterangan gambar :

B = buoyancy

W = submerged weight of pipe

τ = soil shear resistance to pipe movement

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Ghazzaly, kestabilan pipa dinyatakan dalam suatu range harga specific gravity, seperti formula sebagai berikut :

$$\text{Densitas tanah ekivalen} = \text{densitas pipa dan isinya} \pm R \quad (\text{II.20})$$

$$R \approx 2 \frac{C}{D} \quad (\text{II.21})$$

dimana :

R = ketahanan tanah terhadap floatation atau settlement per unit volume pipa, lb/ft³

C = remolded cohesive shear strength tanah, lb/ft²

D = diameter luar pipa, ft

Jika kedua ruas persamaan di atas dibagi dengan densitas air, ρ , maka batas atas dan bawah untuk specific gravity pipa dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$SG_1 < SG < SG_2 \quad (\text{II.22})$$

dimana :

SG = Range specific gravity pipa yang diijinkan

$$SG_1 = \text{Batas bawah SG} = SG_{\text{tanah}} - 2 \frac{C}{\rho D}$$

$$SG_2 = \text{Batas atas SG} = SG_{\text{tanah}} + 2 \frac{C}{\rho D}$$

Specific gravity pipa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$SG = \frac{\text{Densitas pipa total di udara}}{\text{Densitas air murni pada kondisi standard}} \quad (\text{II.23})$$

Spesific gravity tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$SG_{\text{tanah}} = \frac{\gamma_d(1 + e)}{\gamma_w} \quad (II.24)$$

dimana :

γ_d = berat unit kering tanah

γ_w = berat unit air

e = void ratio

Menurut Braja M. Das, harga γ_d dan e dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tipe Tanah	Void Ratio, e	γ_d , lb/ft ³	γ_d , kN/m ³
Loose Uniform	0,8	92	14,5
Dense Uniform	0,45	115	18
Loose	0,65	102	16
Dense	0,4	121	19
Stiff Clay	0,6	108	17
Soft Clay	0.9 - 1.4	73 - 93	11.5 - 14.5
Loess	0,9	86	13,5
Soft Organic Clay	2.5 - 3.2	38 - 51	6 - 8
Glacial Till	0,3	134	21

Tabel II.4. Void ratio dan γ_d dari beberapa jenis tanah (Braja M. Das, ref. (1))

Bagi harga cohesive shear strength, Karl Terzaghi memberikan harga sebagai berikut :

Konsistensi	C, pcf
Very Soft	kurang dari 250
Soft	250 - 500
Medium	500 - 1000
Stiff	1000 - 2000
Very Stiff	2000 - 4000
Hard	lebih dari 4000

Tabel II.5. Harga cohesive shear strength (Terzaghi, ref. (6))

Untuk pipa yang meletak diatas dasar laut sesuai dengan DnV (ref. (3)), berlaku hal berikut ini :

- SG sink dihitung dengan rumus di atas, SG pipa dihitung dalam kondisi tes hidrostatik (berisi air). Stabilitas terhadap kemungkinan melesak dapat dicapai jika

$$SG \text{ pipa} < SG \text{ sink}$$

- SG float ditetapkan sama dengan SG air laut, SG pipa dihitung dalam kondisi instalasi (isinya kosong). Stabilitas terhadap kemungkinan melayang dapat dicapai jika

$$SG \text{ pipa} > SG \text{ float}$$

$$SG \text{ air laut} = \frac{\text{spesific weight air laut}}{\text{spesific weight air murni}}$$

BAB III

ANALISA STABILITAS PIPA

III.1. KEADAAN PIPA SAAT ANALISA

Analisa pipa dilakukan pada saat pipa meletak di dasar laut dengan kondisi sebagai berikut :

- **Pada saat setelah diinstalasi**

Analisa dilakukan pada saat pipa baru diletakkan pada dasar laut.

Pada saat ini, pipa masih berisikan udara yang memiliki densitas $9.756 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (0.076 lb/ft^3).

- **Pada saat tes hidrostatik**

Tujuan dari tes ini adalah untuk memeriksa kemungkinan adanya kebocoran pada pipa setelah melalui proses instalasi. Pipa dialiri air laut yang diberi tekanan sebesar 1.25 kali tekanan disain gas. Analisa dilakukan ketika pipa berisi air laut yang memiliki densitas 64 lb/ft^3 .

- **Pada saat operasi**

Analisa pipa dilakukan pada saat pipa beroperasi. Pada saat ini pipa berisikan gas yang memiliki densitas 0.169 kg/m^3 (13.17 lb/ft^3).

III.2. STABILITAS LATERAL

III.2.1. Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan adalah data arus steady dan data gelombang untuk 1 tahunan dan 100 tahunan. Data 1 tahunan untuk analisa pipa kondisi instalasi dan tes hidrostatik, sedangkan data 100 tahunan untuk masa operasi. Data lingkungan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Depth	Data Arus		Data Gelombang			
	1 Tahun ft/s	100 Tahun ft/s	1 Tahun		100 Tahun	
			H ft	T s	H ft	T s
475,6 ft	0,24 ft/s	0,45 ft/s	3,73 ft	5 s	7,03 ft	6,2 s

Tabel III.1 Data lingkungan perairan yang ditinjau (BPPT, ref.(2)).

Dari data di atas kemudian dianalisa apakah perairan Natuna termasuk dalam perairan dangkal, menengah, atau dalam dengan syarat-syarat sebagai berikut :

- Perairan dangkal

$$\frac{1}{20} > \frac{d}{L} \quad \text{atau} \quad 0.0025 > \frac{d}{gT^2} \quad (\text{III.1})$$

- Perairan menengah

$$\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2} \quad \text{atau} \quad 0.0025 < \frac{d}{gT^2} < 0.08 \quad (\text{III.2})$$

- Perairan dalam

$$\frac{d}{L} > \frac{1}{2} \quad \text{atau} \quad \frac{d}{gT^2} > 0.08 \quad (\text{III.3})$$

dimana :

d = kedalaman laut

L = panjang gelombang

g = percepatan gravitasi

T = periode gelombang

Setelah dilakukan perhitungan, didapat $\frac{d}{gT^2} = 0.59$. Maka perairan Natuna yang dianalisa termasuk dalam jenis perairan dalam. Untuk daerah perairan dalam, pengaruh gelombang di dasar laut sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Oleh karena itu kecepatan partikel air efektif hanya berasal dari pengaruh arus steady saja.

Gaya inersia tidak diperhitungkan karena percepatan partikel air dalam arus steady sama dengan nol.

III.2.2. Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Pengaruh Gelombang

Dengan menggunakan diagram validitas, dicari teori gelombang yang sesuai.

Data 1 Tahun		Data 100 Tahun	
$d/(gT^2)$	$H/(gT^2)$	$d/(gT^2)$	$H/(gT^2)$
0,59	0,0046	0,39	0,0057

Tabel III.2 Rasio antar parameter untuk menentukan teori gelombang (BPPT, ref.(2)).

Dari data di atas, dapat diketahui bahwa teori gelombang yang cocok untuk perairan yang ditinjau adalah teori Stokes orde dua. Dengan menggunakan persamaan Stokes orde dua yang dijabarkan pada bab II maka dapat dihitung kecepatan partikel air.

Gaya hidrodinamis yang digunakan dalam analisa adalah gaya hidrodinamis maksimum sehingga kecepatan partikel air yang dicari adalah kecepatan partikel air yang memberikan kontribusi gaya yang maksimum. Hal ini terjadi pada suatu sudut fase tertentu dari gelombang yang mana harganya dari 0° sampai dengan 360° .

III.2.3. Perhitungan Kecepatan Partikel Air Akibat Arus

Kecepatan arus didapat dari survey yang dilakukan pada ketinggian 1 ft di atas permukaan dasar laut dengan arah tegak lurus dengan sumbu pipa. Dengan memasukkan data ke dalam persamaan perhitungan kecepatan arus yang dijelaskan pada II.14 maka akan didapat kecepatan efektif dari arus.

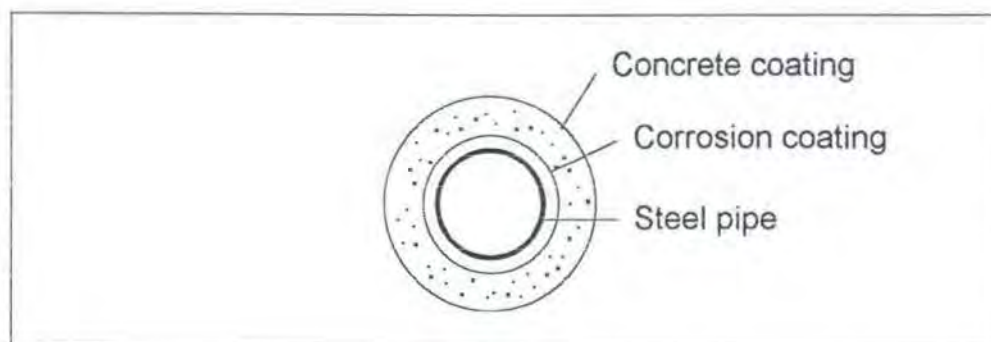
III.2.4. Perhitungan Gaya Hidrodinamis dan Gaya Gesek Tanah

Karena gaya inersia sama dengan nol maka gaya hidrodinamis yang digunakan merupakan gaya drag maksimum dan gaya lift maksimum. Besarnya gaya dipengaruhi oleh besarnya diameter luar pipa. Penentuan koefisien-koefisien gaya hidrodinamis dapat dilakukan dengan berbagai cara yang telah disebutkan pada bab II. Karena perhitungan menggunakan

program komputer, dan komputer tidak bisa membaca grafik maka digunakan koefisien-koefisien yang dijabarkan pada tabel II.1. Besarnya gaya gesek tanah dipengaruhi oleh koefisien gesek tanah. Untuk keadaan instalasi, $\mu = 0.5$, sedangkan untuk keadaan tes hidrostatik dan operasi $\mu = 0.6$.

III.2.5. Perhitungan Berat Pipa

Penampang melintang pipa yang akan digunakan adalah sebagai berikut :



Gb. III.1 Penampang melintang pipa (A.H. Mouselli, ref. (4))

Dari gambar di atas maka perhitungan berat total pipa dapat dirumuskan sebagai berikut (A.H. Mouselli, ref. (4)):

$$W_{air} = W_{steel} + W_{corr} + W_{isi} + W_{concrete} \quad (III.4)$$

$$W_{sub} = W_{air} - F_{buoy} \quad (III.5)$$

dimana :

W_{air} = berat total pipa di udara, lb/ft

W_{steel} = berat material pipa, lb/ft

W_{corr} = berat lapisan anti korosi, lb/ft

W_{isi}	= berat isi pipa, lb/ft
$W_{concrete}$	= berat concrete coating, lb/ft
W_{sub}	= berat total pipa di dalam air, lb/ft
F_{buoy}	= gaya tekan ke atas, lb/ft

III.2.6. Data Material Yang Digunakan

Data material yang digunakan adalah sebagai berikut (BPPT, ref. (7)) :

- Diameter luar pipa baja = 26 inch
- Tebal dinding pipa baja = 0.669 inch
- Tebal lapisan anti korosi = 0.2 inch
- Densitas lapisan anti korosi = 81.12 lb/ft³
- Densitas rata-rata gas = 13.17 lb/ft³

Concrete coating yang biasa digunakan dalam industri lepas pantai memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Densitas concrete coating : 140 lb/ft³, 160 lb/ft³, 190 lb/ft³, dan 200 lb/ft³
- Tebal concrete coating : 0.5", 1", 1.5", 2", 2.5", 3", 3.5", 4", 4.5", 5", 5.5", 6"

Bila hasil analisa mensyaratkan untuk suatu densitas concrete coating dibutuhkan ketebalan lebih dari 6", maka spesifikasi concrete coating tersebut dianggap tidak memenuhi syarat.



III.2.7. Syarat Kestabilan Pipa Lateral

Adanya kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja pada pipa merupakan syarat terjaganya kestabilan pipa. Dengan memodifikasi rumus :

$$(W_{\text{sub}} - F_L)\mu \geq (F_D + F_i) \quad 1,1 \quad (\text{III.6})$$

maka didapat berat total pipa di dalam air yang memenuhi syarat :

$$W_{\text{sub}} \geq F_L + \frac{1,1}{\mu} (F_D + F_i) \quad (\text{III.7})$$

Harga total dari pengaruh gaya-gaya yang bekerja pada pipa dijadikan sebagai syarat berat minimum yang harus dicapai oleh pipa.

Analisa dilakukan dalam dua langkah :

1. Menghitung gaya-gaya hidrodinamis, akibat efek arus dan gelombang, yang bekerja pada pipa dan gaya penahan yang ada karena adanya interaksi antara pipa dengan tanah.
2. Menghitung berat pipa total di dalam air per satuan panjang.

Dari hasil yang didapat dari kedua langkah di atas kemudian dimasukkan ke dalam persamaan (III.7) maka dapat diketahui syarat-syarat material yang memenuhi stabilitas lateral.

III.3. STABILITAS VERTIKAL

Persyaratan kestabilan pipa diformulasikan dalam dua persamaan. Untuk pipa yang terpendam, digunakan persamaan (II.22) sedangkan untuk pipa yang meletak di dasar laut menggunakan peraturan yang ditetapkan oleh DnV (ref. (3)). Spesific gravity pipa akan bervariasi sesuai dengan perubahan densitas dan ketebalan concrete coating. Kondisi pipa akan stabil bila harga SG pipa berada diantara harga maksimum dan minimum dari Spesific gravity pipa.

III.3.1. SG Float

Berdasarkan DNV (ref. (3)), SG float merupakan batas minimum dari SG pipa dan dihitung dari spesifik gravity air laut.

$$\text{Spesific weight air laut} = 64 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Spesific weight air murni (kondisi standard)} = 62.428 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{SG air laut} = \frac{64}{62.428} = 1.025$$

III.3.2. SG Sink

Berdasarkan DNV (ref. (3)), SG sink merupakan batas maksimum dari SG pipa dan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{SG sink} = \text{SG tanah} + \frac{2C}{pD} \quad (\text{III.8})$$

Dari tabel II.4, untuk jenis tanah soft clay, didapat void ratio, e , = 0.9 dan berat unit kering tanah, γ_d , = 73 lb/ft³. Kemudian dari tabel II.5 didapat harga Remolded Cohesive Shear Strength untuk soft clay = 250 lb/ft³.

Dari data di atas maka SG tanah = $\frac{73(1+0.9)}{64} = 2.168$.

Sedangkan harga $\frac{2C}{\rho D}$ merupakan fungsi dari tebal concrete coating yang dianalisa. Dapat dikatakan SG sink tergantung pada ketebalan concrete coating.

BAB IV**HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISA****IV.1. HASIL PERHITUNGAN**

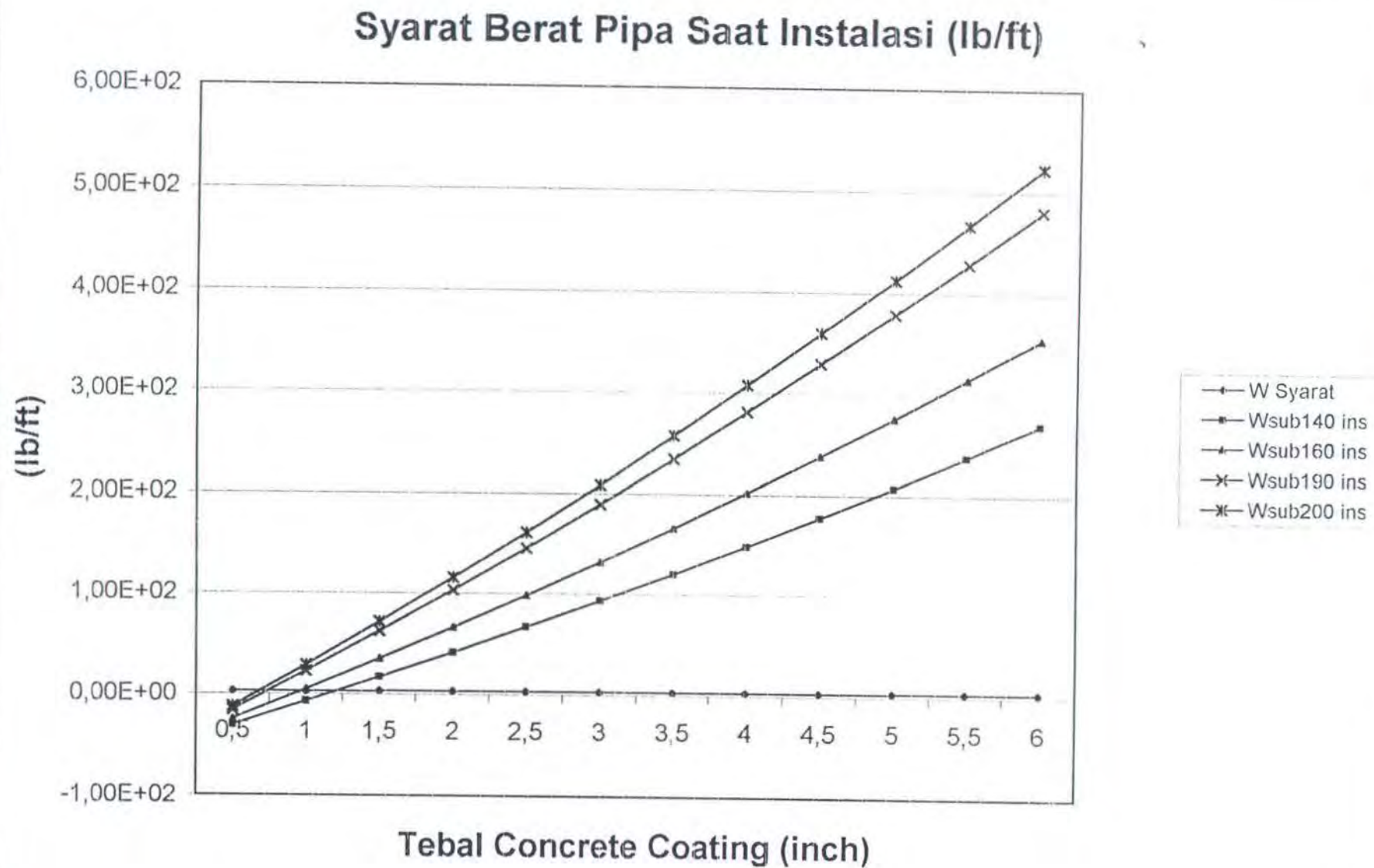
Hasil analisa perhitungan disusun sebagai suatu tabel yang menunjukkan ketebalan concrete coating untuk masing-masing densitas concrete yang memenuhi persyaratan kestabilan baik secara horizontal maupun secara vertikal.

Kondisi Analisa	Densitas 140 pcf (inch)	Densitas 160 pcf (inch)	Densitas 190 pcf (inch)	Densitas 200 pcf (inch)
Instalasi	1,5	1	1	1
Tes Hidro	1,5	1	1	1
Operasi	1,5	1	1	1

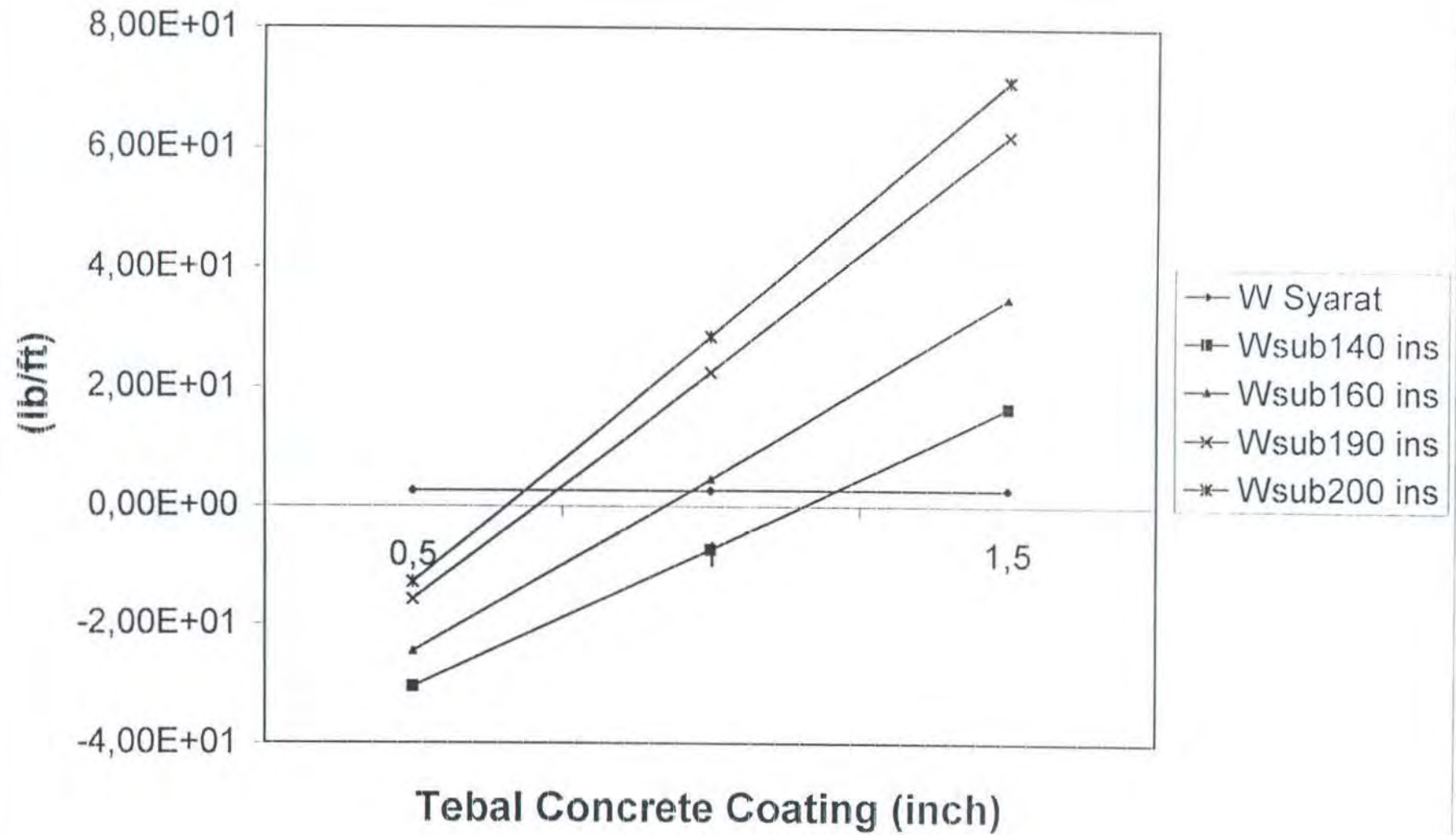
Tabel IV.1. Ketebalan concrete coating untuk setiap densitas concrete yang

memenuhi persyaratan stabilitas.

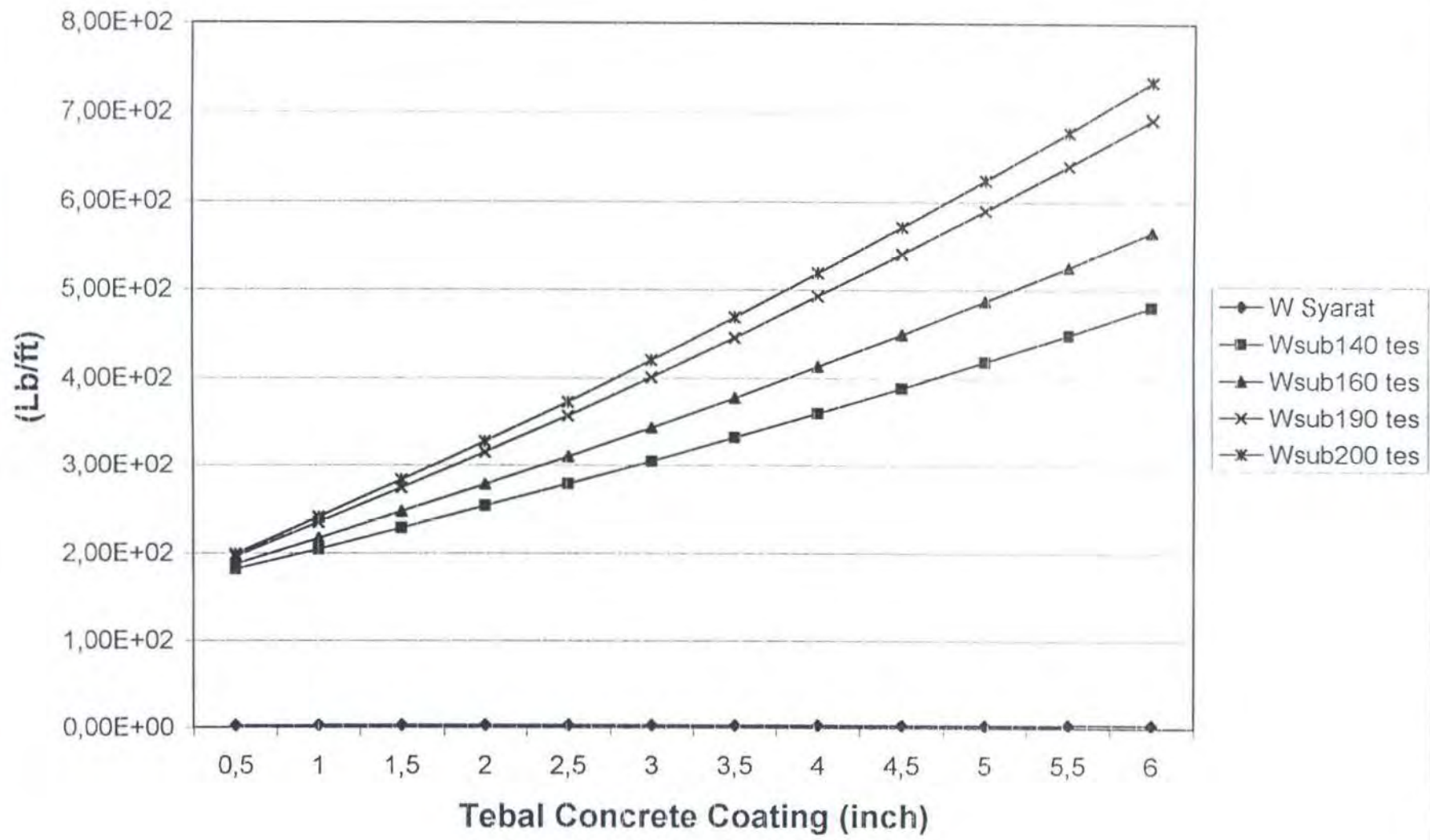
Berikut ini juga ditampilkan grafik hasil perhitungan.

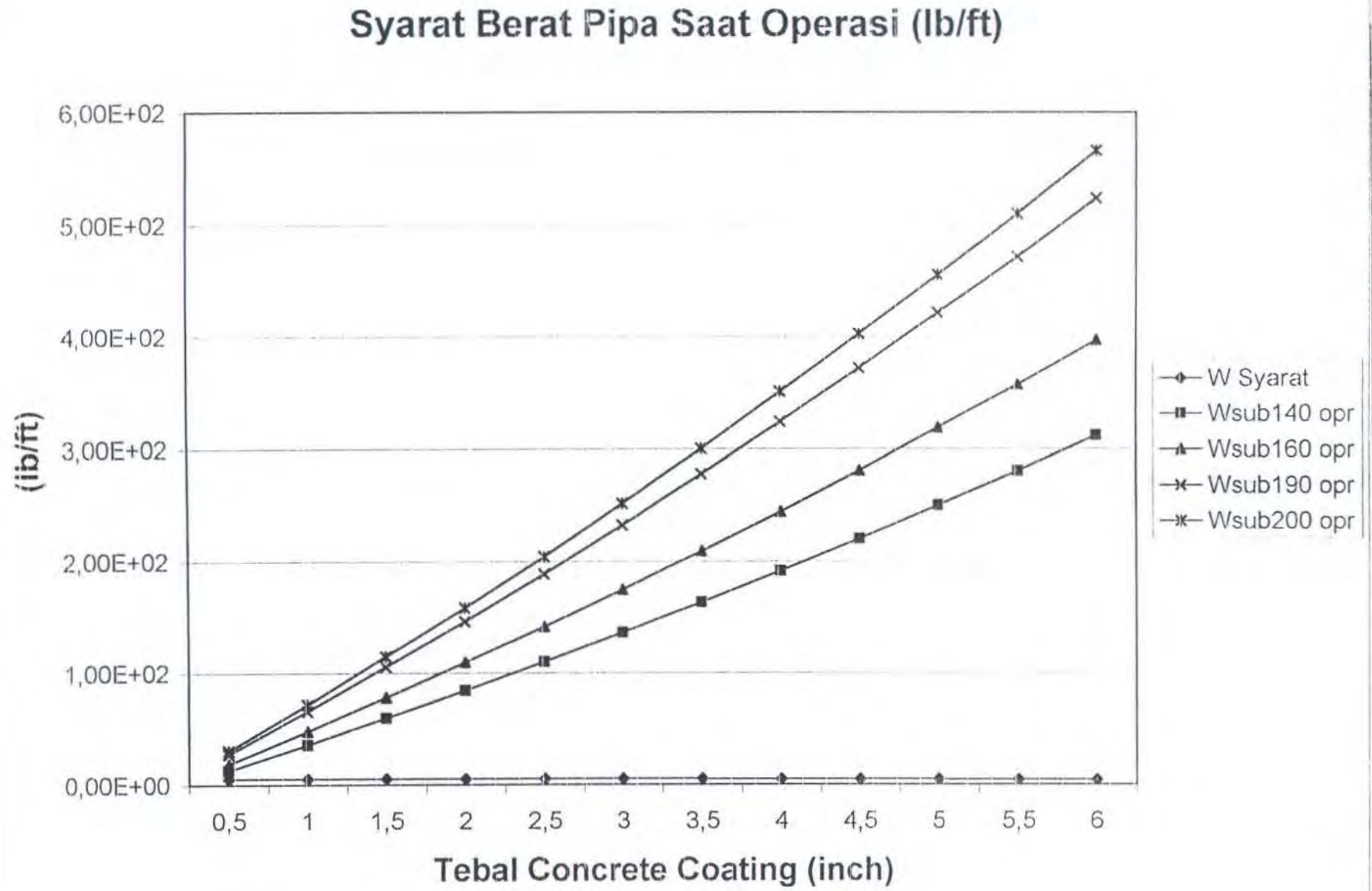


Syarat Berat Pipa Saat Instalasi (lb/ft)

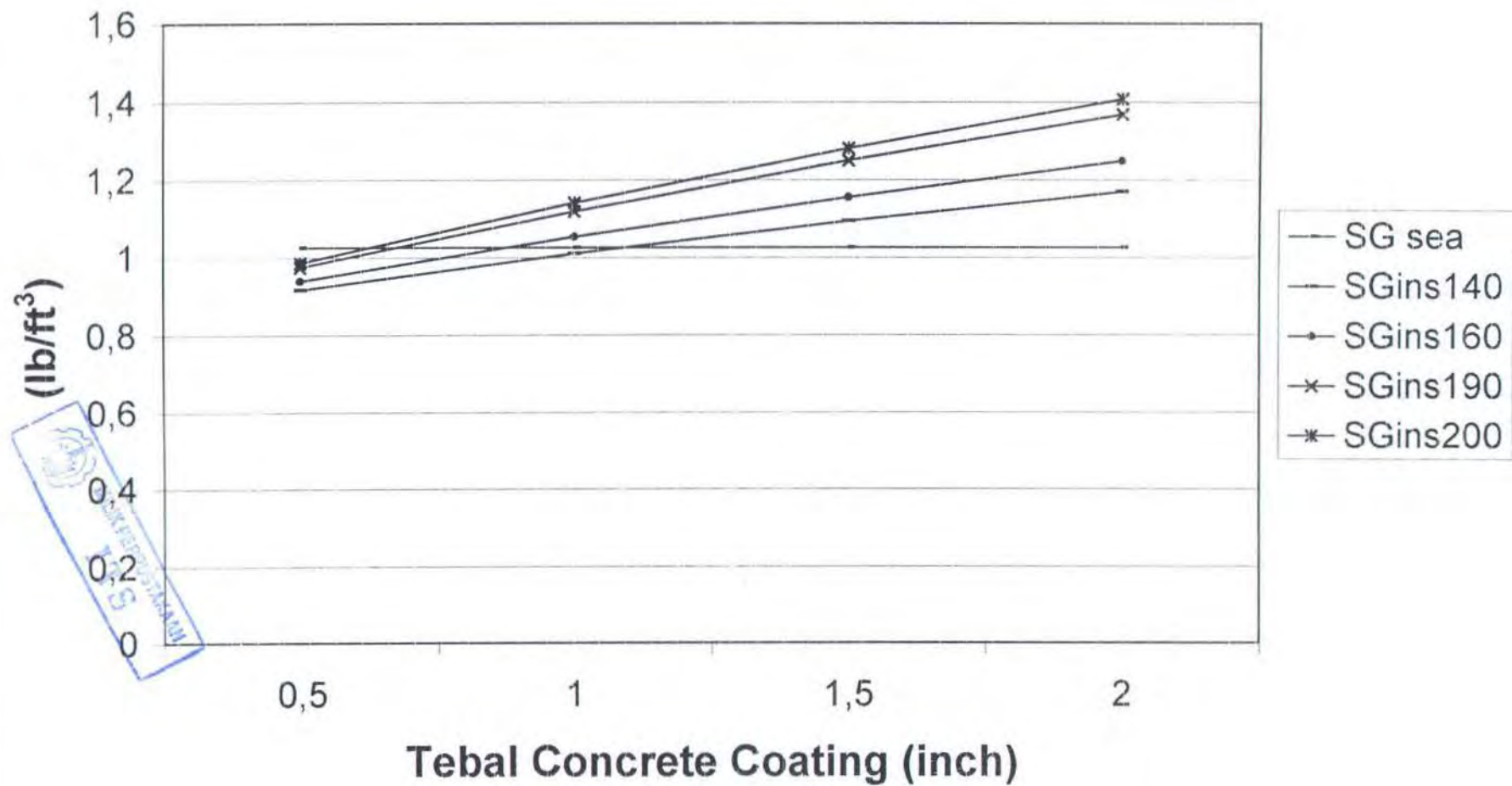


Syarat Berat Pipa saat Hydrostatic Tes (Lb/ft)

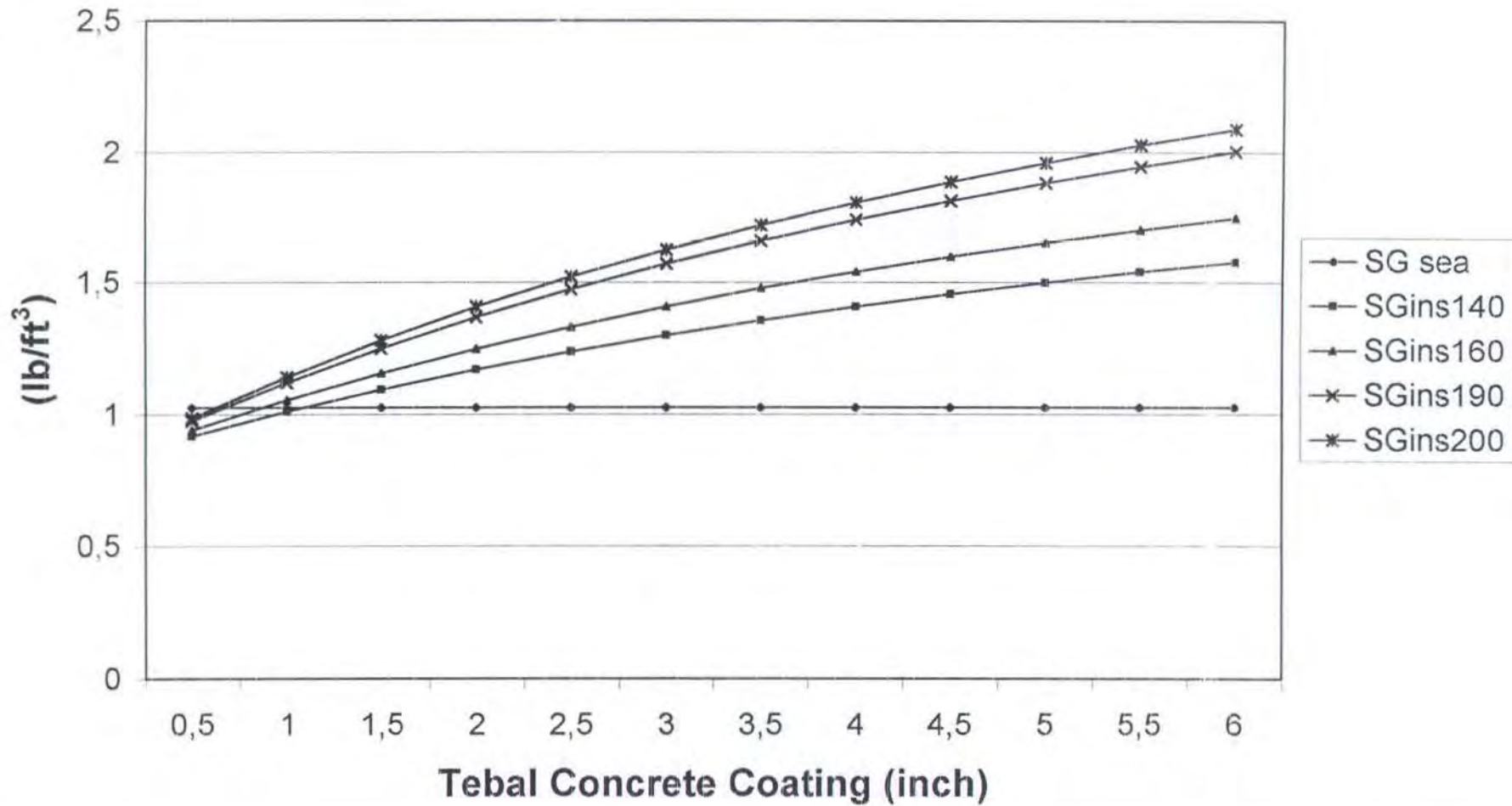




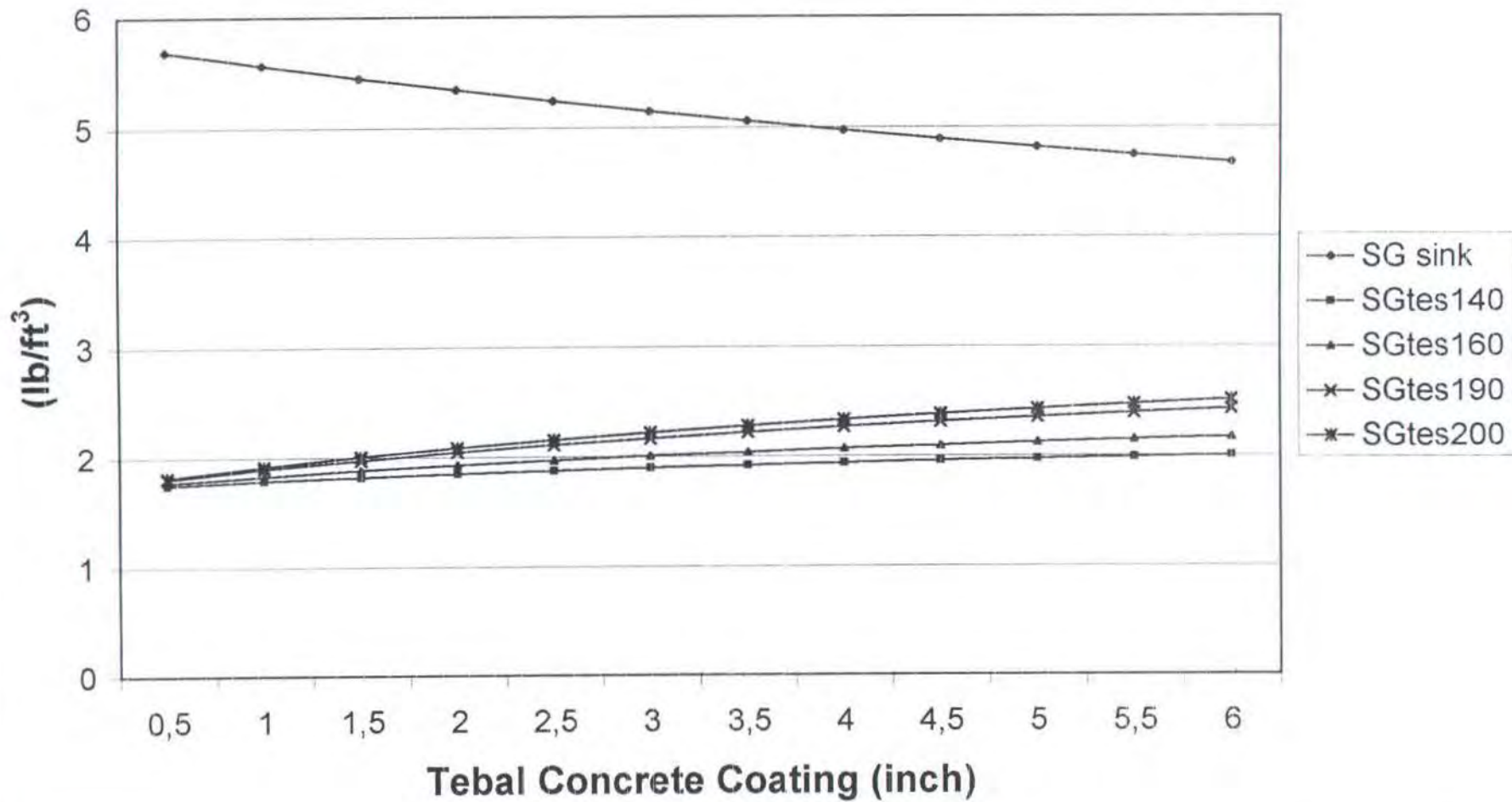
Syarat Stabilitas Pipa Terhadap Kemungkinan Melayang (lb/ft^3)



Syarat Stabilitas Pipa Terhadap Kemungkinan Melayang (lb/ft³)

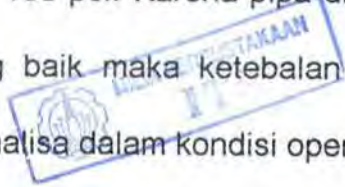


Syarat Stabilitas Pipa Terhadap Kemungkinan Melesak (lb/ft³)



IV.2. ANALISA HASIL PERHITUNGAN

Dari analisa yang telah dilakukan didapat bahwa tebal concrete coating yang dapat digunakan untuk pipa Esso di perairan Natuna dengan diameter pipa 26 inchi di kedalaman laut 145 meter adalah 1.5 inchi untuk densitas concrete coating 140 pcf dan 1 inchi untuk densitas concrete coating 160 pcf, 190 pcf, 200 pcf pada kondisi analisa instalasi, tes hydrostatic, dan operasi. Concrete coating digunakan untuk melindungi pipa dari benturan-benturan dari lingkungan di sekitarnya serta memberikan berat tambahan untuk kestabilan di dasar laut. Apabila menggunakan concrete coating dengan ketebalan 1.5 inchi maka pipa lebih terlindungi dari benturan-benturan luar daripada concrete coating dengan ketebalan 1 inchi. Tetapi hal ini menyebabkan biaya pembuatan pipa lebih besar. Apabila menggunakan concrete coating dengan ketebalan 1 inchi dengan densitas 160 pcf maka pipa cukup terlindungi dan biaya pembuatannya dapat lebih kecil dari pipa dengan tebal concrete coating 1.5 inchi. Apabila menggunakan concrete coating dengan ketebalan 1 inchi dengan densitas 190 atau 200 pcf maka pipa cukup terlindungi tetapi biaya pembuatannya lebih besar dari pipa dengan densitas concrete coating 160 pcf. Dengan mempertimbangkan hal di atas maka ketebalan concrete coating yang digunakan adalah 1 inchi dengan densitas 160 pcf. Karena pipa diharapkan dapat beroperasi dengan kestabilan yang baik maka ketebalan concrete coating yang dipilih merupakan hasil dari analisa dalam kondisi operasi.



Dari analisa ini dihasilkan juga program komputer berbasis Delphi yang dapat digunakan untuk menentukan tebal concrete coating yang memenuhi syarat kestabilan untuk berbagai diameter pipa dan perairan laut. Input yang digunakan dalam program ini adalah data material pipa termasuk corrosion coating, data densitas gas, data arus laut, data gelombang laut, data kedalaman laut, data densitas concrete coating yang digunakan, dan data kondisi analisa. Perhitungan yang dilakukan pada analisa ini merupakan salah satu contoh pemakaian program ini.

IV.2.1. Pengaruh Densitas Concrete Coating Terhadap Kestabilan Pipa

Densitas concrete coating memberikan kontribusi yang cukup besar dalam kestabilan pipa, yaitu :

- **Terhadap kestabilan lateral.**

Apabila densitas concrete coating semakin besar maka berat pipa juga akan semakin membesar sehingga untuk mencapai berat pipa yang memenuhi syarat stabilitas, semakin besar densitas concrete coating yang digunakan, semakin kecil ketebalan concrete coating yang dibutuhkan. Penambahan densitas tidak menyebabkan berat yang disyaratkan dalam kestabilan juga ikut bertambah. Hal ini disebabkan berat yang disyaratkan bukan fungsi dari densitas concrete coating.

- **Terhadap kestabilan vertikal.**

Adanya penambahan densitas concrete coating maka SG pipa juga akan semakin bertambah. Hal ini menyebabkan SG pipa akan lebih besar daripada SG float-nya sehingga aman dari kemungkinan melayang. Penambahan densitas concrete coating juga mengakibatkan SG pipa mendekati harga SG sink. Pada kasus ini harga SG pipa tidak sampai melampaui SG sink-nya sehingga pipa aman dari kemungkinan melesak ke dalam tanah.

IV.2.2. Pengaruh Ketebalan Concrete Coating Terhadap Kestabilan Pipa

Ketebalan concrete coating memberikan kontribusi yang cukup besar dalam kestabilan pipa, yaitu :

- **Terhadap kestabilan lateral.**

Adanya penambahan tebal concrete coating menyebabkan berat pipa juga akan bertambah. Apabila berat pipa sama atau melebihi berat yang telah disyaratkan dalam kestabilan maka ketebalan concrete coating yang digunakan pada pipa tersebut merupakan ketebalan minimum yang memenuhi syarat kestabilan. Berat yang disyaratkan dalam kestabilan merupakan fungsi dari ketebalan concrete coating sehingga semakin tebal concrete coating maka

semakin besar pula berat yang disyaratkan. Penambahan tebal concrete coating memberikan kontribusi yang lebih besar pada penambahan berat total pipa daripada penambahan berat yang disyaratkan sehingga pada suatu ketebalan concrete coating tertentu berat total pipa akan melampaui berat yang disyaratkan.

- **Terhadap kestabilan vertikal.**

Penambahan ketebalan concrete coating menyebabkan penambahan SG pipa. Dapat dilihat pada grafik bahwa pada kondisi operasi, dengan densitas 140 pcf, dengan ketebalan concrete coating kurang dari 1.5 inchi SG pipa memiliki harga di bawah SG float-nya sehingga tidak memenuhi syarat kestabilan vertikal. Padahal bila dilihat dari faktor berat pipa, berat total pipa dengan ketebalan coating 1 inchi telah memenuhi syarat kestabilan lateral. Dapat dikatakan pipa tersebut aman secara lateral tetapi tidak aman secara vertikal karena mengalami proses melayang. Dari sini dapat kita simpulkan bahwa ketebalan concrete coating juga mempengaruhi kestabilan secara vertikal.

Penambahan tebal coating juga mempengaruhi nilai SG sink-nya karena SG sink merupakan fungsi dari diameter luar pipa sehingga apabila tebal coating semakin besar, SG sink akan semakin mengecil. Hal ini menyebabkan harga SG pipa mendekati

SG sink-nya. Tetapi pada kasus ini SG pipa tidak melampaui SG sink-nya sehingga dapat dikatakan pipa dalam kondisi aman.



BAB V

P E N U T U P

V.1. KESIMPULAN

Dari hasil studi perencanaan dan perhitungan stabilitas pipa bawah laut yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Dari analisa yang telah dilakukan didapat bahwa tebal concrete coating yang dapat digunakan untuk pipa Esso di perairan Natuna dengan diameter pipa 26 inchi di kedalaman laut 145 meter adalah 1.5 inchi untuk densitas concrete coating 140 pcf dan 1 inchi untuk densitas concrete coating 160 pcf, 190 pcf, 200 pcf pada kondisi analisa instalasi, tes hydrostatic, dan operasi.
 2. Apabila menggunakan concrete coating dengan ketebalan 1.5 inchi dan densitas 140 pcf maka pipa lebih terlindungi dari benturan-benturan luar daripada concrete coating dengan ketebalan 1 inchi. Tetapi hal ini menyebabkan biaya pembuatannya lebih besar.
 3. Apabila menggunakan concrete coating dengan ketebalan 1 inchi dengan densitas 160 pcf maka pipa cukup terlindungi dan biaya pembuatannya dapat lebih kecil daripada concrete coating dengan ketebalan 1.5 inchi.
 4. Apabila menggunakan concrete coating dengan ketebalan 1 inchi dengan densitas 190 atau 200 pcf maka pipa cukup terlindungi tetapi belum tentu
-

biaya pembuatannya dapat lebih kecil daripada concrete coating dengan ketebalan 1.5 inchi.

5. Dengan mempertimbangkan hal di atas maka ketebalan concrete coating yang digunakan adalah 1 inchi dengan densitas 160 pcf.
6. Karena pipa diharapkan dapat beroperasi dengan kestabilan yang baik maka ketebalan concrete coating yang dipilih merupakan hasil dari analisa dalam kondisi operasi.
7. Dari analisa ini dihasilkan juga program komputer berbasis Delphi yang dapat digunakan untuk menentukan tebal concrete coating yang memenuhi syarat kestabilan untuk berbagai diameter pipa dan perairan laut dengan input yang digunakan adalah data material pipa termasuk corrosion coating, data densitas gas, data arus laut, data gelombang laut, data kedalaman laut, data densitas concrete coating yang digunakan, dan data kondisi analisa dengan asumsi dasar laut rata (kemiringannya 0°), gaya hidrodinamis merupakan gaya ekstrim yang berdasarkan data arus dan data gelombang, dan scouring tidak terjadi.

V.2. SARAN

Berdasarkan atas analisa yang telah dilakukan maka saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah :



1. Analisa ini hanya menggunakan data lingkungan dan data pipa yang terbatas. Oleh karena itu untuk memperoleh hasil yang lebih baik dibutuhkan data-data lingkungan dan pipa yang lebih banyak lagi.
2. Untuk pipa yang menggunakan alat bantu seperti jangkar untuk memenuhi syarat stabilitas lateral dan vertikal, membutuhkan analisa lebih lanjut.
3. Untuk masalah scouring dan span membutuhkan analisa lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Das, Braja M. penterjemah Endah, Noor & Indrasurya, "*Mekanika Tanah Jilid 1*", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
 2. Tim Yantek Baruna Jaya, "*Laporan Survei Penelitian Gelombang, Arus dan Angin di Perairan Pulau Natuna*", BPP Teknologi, Jakarta, 1997.
 3. Det Norske Veritas, "*Rules For Submarine Pipeline Systems*", DnV, Hovik, Norway, 1996.
 4. Mouselli, A.H., "*Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods*", PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1981.
 5. Sarpkaya, Turgut & Isaacson, Michael, '*Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures*', Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
 6. Terzaghi, Karl, '*Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*', Penerbit Erlangga, Jakarta, 1987.
 7. Jujur, I Nyoman, "*Laporan Teknis : Analisa Kemampuan Nasional dan Peluang Dalam Mengantisipasi Enjiniring, Procurement, Konstruksi, Instalasi, dan Inspeksi Sistim Perpipaian dan Pipa Salur Proyek Gas Natuna*", BPP Teknologi, Jakarta, 1995.
-

-
8. H.M., Jogiyanto, *"Turbo Pascal versi 5.0 Jilid 1 & 2"*, Andi Offset, Yogyakarta, 1991.
 9. Chakrabarti, S.K., *"Hydrodynamics of Offshore Structure"*, Computational Mechanics Publications Southampton Boston, 1987.
 10. Mukhtasor, *"Diktat Kuliah Kimia Proses"*, Jurusan Teknik Kelautan FT. Kelautan-ITS, Surabaya, 1995.
 11. Pramono, Djoko, *"Belajar Sendiri Pemrograman Delphi '95"*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1996.
 12. Fox, Robert W. & McDonald, Alan T., *"Introduction to Fluid Mechanics"*, 3th edition, John Wiley & Sons Inc., New York, New York, 1987.



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947254, 597274 psw. 144 Telex 34224 Fax 5947254

FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Kami, dosen pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa :

Nama : GIRI BAWONUNDE
NRP : 4393100017
Judul TA : STUDI KESTABILAN PIPA BAWAH LAUT PADA
LAPANGAN PRODUKSI PERTAMINA-ESSO
DI LAUT CINA SELATAN

Setelah mempertimbangkan butir-butir berikut :

- a. Keaktifan mahasiswa dalam mengadakan asistensi.
- b. Proporsi Materi TA yang telah diselesaikan sampai saat ini.
- c. Prospek penyelesaian TA dalam jangka waktu yang relevan.
- d. Masa Studi yang tersisa.

Dengan ini kami mengusulkan agar TA mahasiswa tersebut diputuskan untuk :

- ☐ Dibatalkan keseluruhannya dan mengajukan judul baru
- ☐ Diperkenankan menyelesaikan tanpa perubahan
- ☐ Diperkenankan mengikuti Ujian Tugas Akhir dengan Judul :

Selanjutnya mahasiswa diatas diharuskan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhirnya dan dapat mengikuti ujian Tugas Akhir untuk Wisuda

Surabaya, 9 Februari 1999
Dosen Pembimbing :


(Ir. J. J. SOEDJONO, M.Sc.)



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947254, 597274 psw.144 Telex 34224 Fax 5947254

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Giri Bawonondo
NOMOR POKOK : 43.93.100.017
NAMA DOSEN PEMBIMBING I : Ir. J.J. Soedjono, M. Sc.
TUGAS DIMULAI : 3 Pebruari 1998
TUGAS DISELESAIKAN : 9 Pebruari 1999
JUDUL TUGAS AKHIR : Studi Kestabilan Pipa Bawah Laut Pada
lapangan Produksi Pertamina-Esso di
Laut Cina Selatan

NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING
1	15/10 1998	Pendahuluan	
2	29/10 1998	BAB II Dasar Teori	
3	12/11 1998	BAB III Analisa Stabilitas Pipa	
4	11/1 - 99	BAB IV Hasil Perhitungan dan Analisa	
5		BAB V Penutup	
6	9-2-99	BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV, BAB V	
7			
8			
9	9/2 1999	Selesai	

Catatan : Lembar Presentasi dan Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947254, 597274 psw. 144 Telex 34224 Fax. 5947254

FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Kami, dosen pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa :

Nama : GIRI BAWONONDO
NRP : 4395100017
Judul TA : STUDI KESTABILAN PIPA BAWAH LAUT PADA
LAPANGAN PRODUKSI PERTAMINA-ESSO DI
LAUT CINA SELATAN

Setelah mempertimbangkan butir-butir berikut :

- a. Keaktifan mahasiswa dalam mengadakan asistensi.
- b. Proporsi Materi TA yang telah diselesaikan sampai saat ini.
- c. Prospek penyelesaian TA dalam jangka waktu yang relevan.
- d. Masa Studi yang tersisa.

Dengan ini kami mengusulkan agar TA mahasiswa tersebut diputuskan untuk :

- ☐ Dibatalkan keseluruhannya dan mengajukan judul baru
- ☐ Diperkenankan menyelesaikan tanpa perubahan
- ☒ Diperkenankan mengikuti Ujian Tugas Akhir dengan Judul :

Sesuai judul di atas

Selanjutnya mahasiswa diatas diharuskan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhirnya dan dapat mengikuti ujian Tugas Akhir untuk Wisuda

Surabaya, 11 Februari 1999
Dosen Pembimbing :


(JUSUF SUTOMO, M.Sc)





DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947254, 597274 psw.144 Telex 34224 Fax 5947254

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

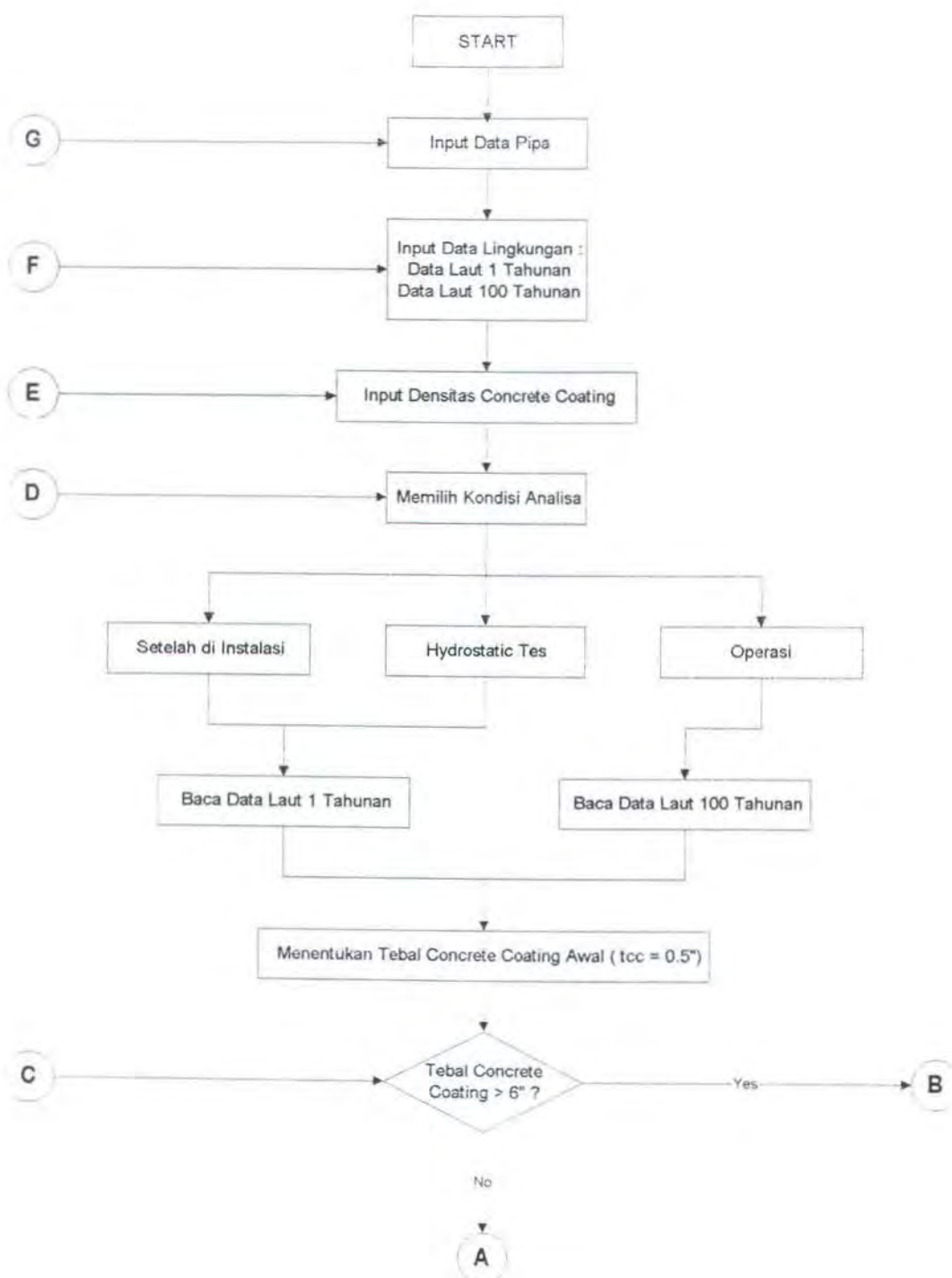
NAMA MAHASISWA : Giri Bawonondo
NOMOR POKOK : 43.93.100.017
NAMA DOSEN PEMBIMBING II : Ir. Jusuf Sutomo, M. Sc.
TUGAS DIMULAI : 3 Pebruari 1998
TUGAS DISELESAIKAN : 11 Pebruari 1999
JUDUL TUGAS AKHIR : Studi Kestabilan Pipa Bawah Laut Pada
lapangan Produksi Pertamina-Esso di
Laut Cina Selatan

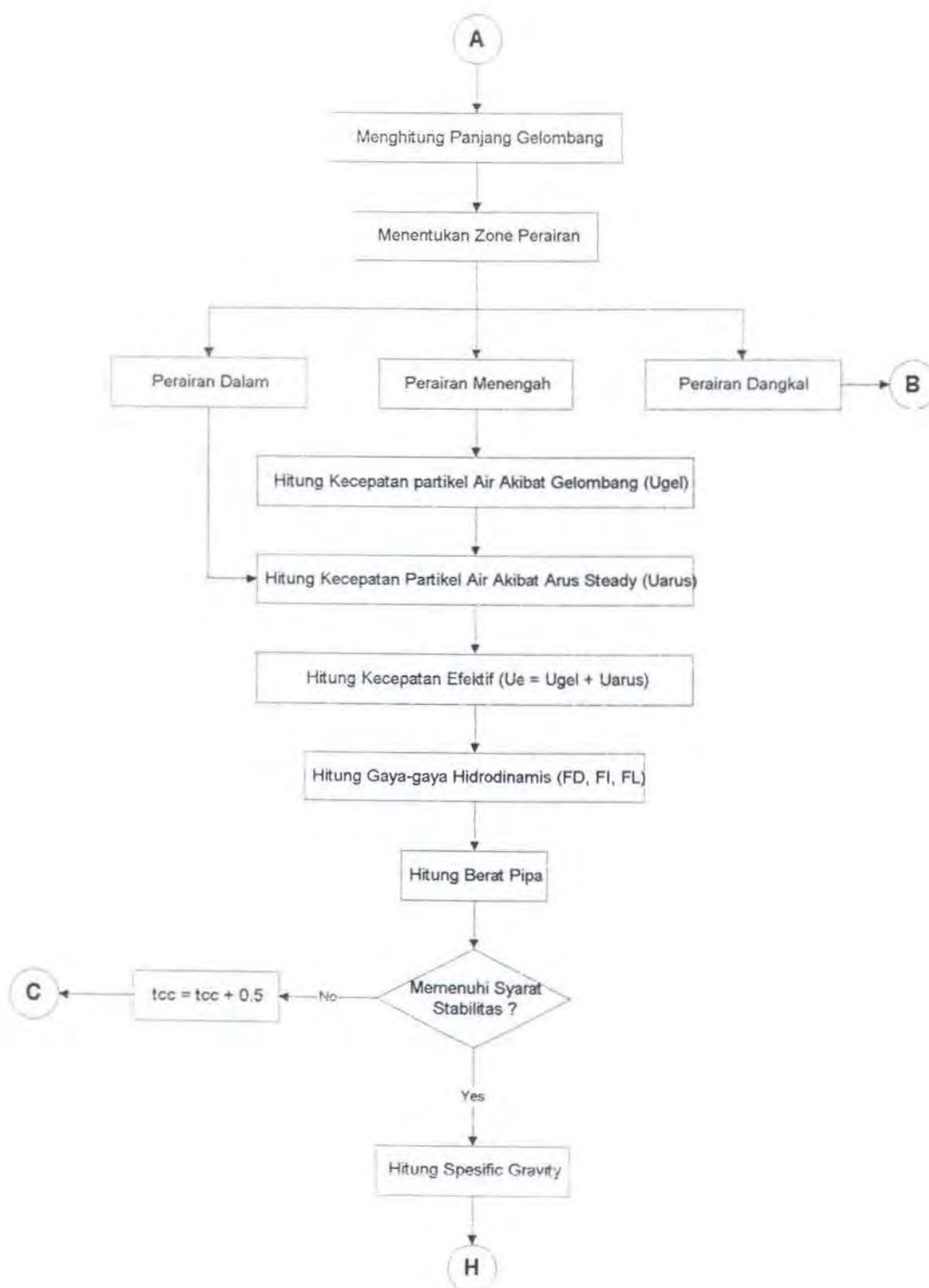
NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING
1	11/2 1999	Pendahuluan	
2	11/2 1999	BAB II Dasar Teori	
3	11/2 1999	BAB III Analisa Stabilitas Pipa	
4	11/2 1999	BAB IV Hasil Perhitungan dan Analisa	
5	11/2 1999	BAB V Penutup	
6	11/2 1999	BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV, BAB V	
7			
8			
9		Selesai	

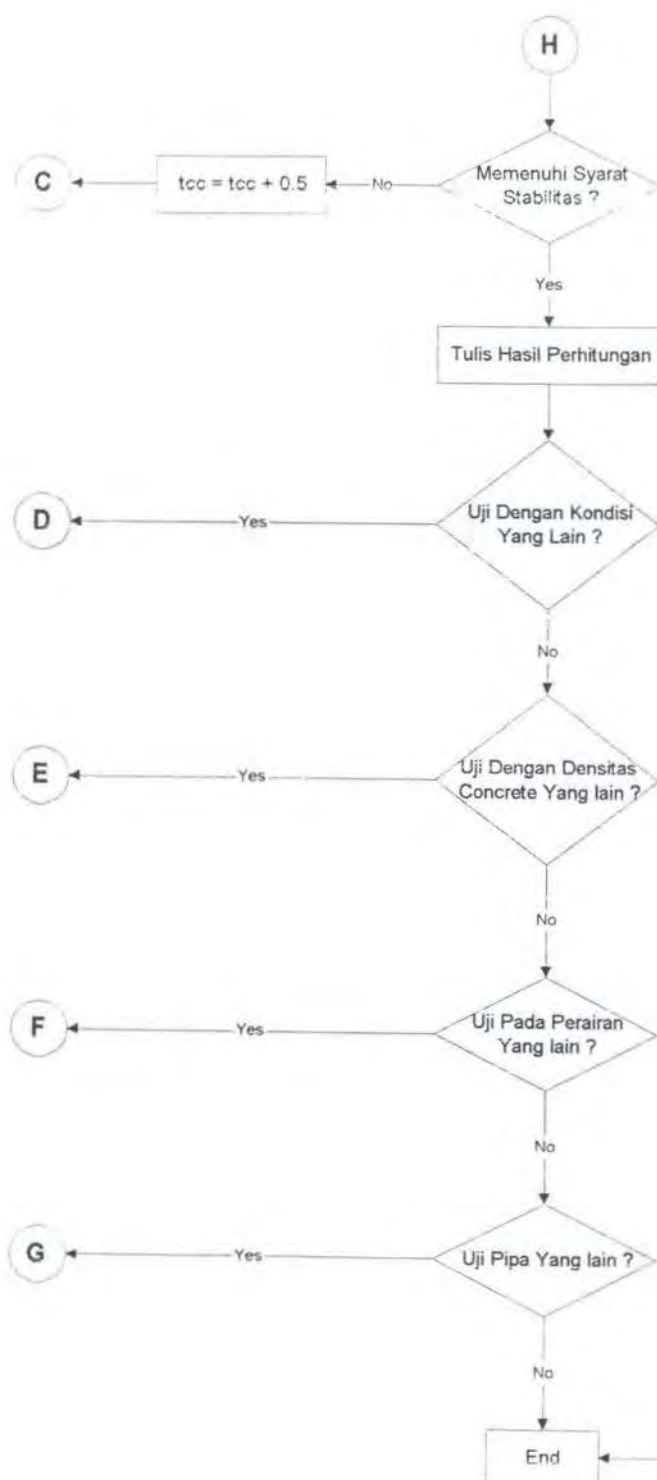
Catatan : Lembar Presentasi dan Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir

LAMPIRAN A

DIAGRAM ALIR PROGRAM KOMPUTER







LAMPIRAN B**LISTING PROGRAM PERHITUNGAN ON-BOTTOM STABILITY**

Perhitungan stabilitas pipa di dasar laut menggunakan program Borland Delphi versi III. Untuk memperoleh hasil, pemakai diharapkan dapat memberikan input data sebagai berikut :

- Data material pipa yaitu diameter luar pipa, tebal pipa, tebal lapisan anti korosi, densitas lapisan anti korosi, densitas gas produk.
- Data lingkungan yaitu data laut 1 tahunan dan data laut 100 tahunan yang terdiri dari : Tinggi gelombang, periode gelombang, kedalaman laut, kecepatan arus steady, dan ketinggian pengambilan data kecepatan arus dari permukaan dasar laut.
- Memilih densitas concrete coating yang akan diuji, yaitu 140 pcf, 160 pcf, 190 pcf, atau 200 pcf.
- Memilih kondisi pipa pada saat dianalisa, yaitu setelah di instalasi, saat Hydrostatic Testing, atau saat operasi.

Setelah semua data dimasukkan ke dalam program maka hasil program yang akan tampil adalah sebagai berikut :

- Informasi tentang kondisi analisa
 - Informasi tentang zone perairan
 - Kecepatan efektif partikel air
-

- Tebal concrete coating yang memenuhi syarat
- Densitas concrete coating yang memenuhi syarat
- Gaya Drag
- Gaya Lift
- Gaya Inersia
- Gaya Hidrodinamis total
- Berat pipa total di dasar laut
- Spesific Gravity Sinking
- Spesific Gravity saat Hydrostatic tes
- Spesific Gravity Floatation
- Spesific Gravity saat setelah Instalasi

Setelah hasil di dapat maka seluruh proses perhitungan beserta dengan hasilnya dapat disimpan dalam suatu file dengan extension .txt dengan menggunakan fasilitas *simpan file* atau *simpan file as*. Untuk membuka file tersebut dapat menggunakan fasilitas *buka file*. Setelah data masukan dan hasil program disimpan dalam suatu file, program ini juga dapat mencetak file tersebut dengan menggunakan fasilitas *print*. Untuk memilih printer, kertas yang digunakan, dan hal-hal lainnya dapat menggunakan fasilitas *printer setup*. Untuk keterangan lebih lanjut dapat melihat file *baca.txt* yang berisikan petunjuk menggunakan program ini.

Listing program lengkap dapat anda baca berikut ini :

```
unit Unit9; { unit pembuka }
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
Buttons, StdCtrls, ExtCtrls, Unit10, Unit19;
```

```
type
```

```
TForm9 = class(TForm)  
    Image1: TImage;  
    Label1: TLabel;  
    Label2: TLabel;  
    BitBtn1: TBitBtn;  
    BitBtn3: TBitBtn;  
    BitBtn2: TBitBtn;  
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);  
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);  
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);  
private  
    { Private declarations }  
public  
    { Public declarations }  
end;
```

```
var
```

```
    Form9: TForm9;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TForm9.BitBtn1Click(Sender: TObject);  
begin  
    Close;  
end;
```

```
procedure TForm9.BitBtn3Click(Sender: TObject);  
begin  
    Form9.Hide;  
    Form1.ShowModal;  
    Close;  
end;
```

```
procedure TForm9.BitBtn2Click(Sender: TObject);  
begin  
    Form19.ShowModal;  
end;
```

```
end.
```

unit Unit10: {unit jendela utama}

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
Menus, Unit11, Unit12, Unit13, Unit14, Unit15, Unit18, Unit19, ExtCtrls,
Unit21, Unit22, Buttons;

type

```
TForm1 = class(TForm)
  MainMenu1: TMainMenu;
  File1: TMenuItem;
  NewInput1: TMenuItem;
  BukaFile1: TMenuItem;
  SimpanFile1: TMenuItem;
  SimpanFileAs1: TMenuItem;
  N3: TMenuItem;
  Keluar1: TMenuItem;
  TutupFile1: TMenuItem;
  InputData1: TMenuItem;
  DataPipa1: TMenuItem;
  DataLingkungan1: TMenuItem;
  Densitas1: TMenuItem;
  KondisiAnalisa1: TMenuItem;
  Outputdata1: TMenuItem;
  TampilkanHasil1: TMenuItem;
  Help1: TMenuItem;
  HelpContent1: TMenuItem;
  About1: TMenuItem;
  Panel1: TPanel;
  Panel2: TPanel;
  Panel3: TPanel;
  Panel4: TPanel;
  Panel5: TPanel;
  SpeedButton1: TSpeedButton;
  SpeedButton2: TSpeedButton;
  SpeedButton3: TSpeedButton;
  SpeedButton4: TSpeedButton;
  SpeedButton5: TSpeedButton;
  SpeedButton6: TSpeedButton;
  SpeedButton7: TSpeedButton;
  SpeedButton8: TSpeedButton;
  SpeedButton9: TSpeedButton;
  SpeedButton10: TSpeedButton;
  SpeedButton11: TSpeedButton;
  SpeedButton12: TSpeedButton;
  SpeedButton13: TSpeedButton;
  Cetak1: TMenuItem;
  N1: TMenuItem;
  SpeedButton14: TSpeedButton;
  OpenFileDialog1: TOpenDialog;
  SaveDialog1: TSaveDialog;
  procedure DataPipa1Click(Sender: TObject);
  procedure DataLingkungan1Click(Sender: TObject);
  procedure Densitas1Click(Sender: TObject);
  procedure KondisiAnalisa1Click(Sender: TObject);
  procedure TampilkanHasil1Click(Sender: TObject);
  procedure About1Click(Sender: TObject);
```




```
procedure HelpContent1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton4Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton7Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton8Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton9Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton10Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton11Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton12Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton13Click(Sender: TObject);
procedure Keluar1Click(Sender: TObject);
procedure NewInput1Click(Sender: TObject);
procedure TutupFile1Click(Sender: TObject);
procedure SimpanFileAs1Click(Sender: TObject);
procedure SimpanFile1Click(Sender: TObject);
procedure BukaFile1Click(Sender: TObject);
procedure Cetak1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton14Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

const
  SWarningText = ' Simpan File Ini ?';

var
  GasFiles: Textfile;
  Ting,Tong : String;
  DialogValue : Integer;

{$R *.DFM}

procedure TForm1.DataPipa1Click(Sender: TObject);
begin
  Form2.ShowModal;
end;

procedure TForm1.DataLingkungan1Click(Sender: TObject);
begin
  Form3.ShowModal;
end;
procedure TForm1.Densitas1Click(Sender: TObject);
begin
  Form4.ShowModal;
end;

procedure TForm1.KondisiAnalisa1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
Form5.ShowModal;
end;

procedure TForm1.TampilkanHasil1Click(Sender: TObject);
begin
Form6.ShowModal;
end;

procedure TForm1.About1Click(Sender: TObject);
begin
Form10.ShowModal;
end;

procedure TForm1.HelpContent1Click(Sender: TObject);
begin
Form19.ShowModal;
end;

procedure TForm1.SpeedButton3Click(Sender: TObject);
begin
NewInput1Click (Sender);
end;

procedure TForm1.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
DataPipa1Click (Sender);
end;

procedure TForm1.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
begin
DataLingkungan1Click (Sender);
end;

procedure TForm1.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
begin
Densitas1Click (Sender);
end;

procedure TForm1.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
begin
KondisiAnalisa1Click (Sender);
end;

procedure TForm1.SpeedButton6Click(Sender: TObject);
begin
TampilkanHasil1Click (Sender);
end;

procedure TForm1.SpeedButton7Click(Sender: TObject);
begin
HelpContent1Click (Sender);
end;

procedure TForm1.SpeedButton8Click(Sender: TObject);
begin
About1Click (Sender);
end;
```

```
procedure TForm1.Keluar1Click(Sender: TObject);
begin
DialogValue:= MessageDlg(Format(SwarningText, [NamaFile]), mtconfirmation,
[mbYes,mbNo,mbCancel],0);
Case DialogValue of
id_Yes:
begin
SimpanFile1Click (Sender);
Close;
end;
id_No: Close;
end;
end;
```

```
procedure TForm1.NewInput1Click(Sender: TObject);
begin
TutupFile1.Visible := True;
SimpanFile1.Visible := True;
SimpanFileAs1.Visible := True;
DataPipa1.Visible := True;
DataLingkungan1.Visible := True;
Densitas1.Visible := True;
KondisiAnalisa1.Visible := True;
TampilkanHasil1.Visible := True;
SpeedButton1.Visible := True;
SpeedButton2.Visible := True;
SpeedButton4.Visible := True;
SpeedButton5.Visible := True;
SpeedButton6.Visible := True;
SpeedButton10.Visible := True;
SpeedButton11.Visible := True;
SpeedButton12.Visible := True;
With Form2 do
begin
Edit1P.Text := '';
Edit2P.Text := '';
Edit3P.Text := '';
Edit4P.Text := '';
Edit5P.Text := '';
end;
With Form3 do
begin
Edit1.Text := '';
Edit2.Text := '';
Edit3.Text := '';
Edit4.Text := '';
Edit5.Text := '';
Edit6.Text := '';
Edit7.Text := '';
Edit8.Text := '';
Edit9.Text := '';
end;
With Form4 do
begin
RadioButton1.Checked := False;
RadioButton2.Checked := False;
RadioButton3.Checked := False;
RadioButton4.Checked := False;
```



```
end;
With Form5 do
begin
RadioButton1.Checked := False;
RadioButton2.Checked := False;
RadioButton3.Checked := False;
end;
With Form6 do
begin
Label1.Caption := '';
Label22.Caption := '';
Edit1.Text := '';
Edit2.Text := '';
Edit3.Text := '';
Edit4.Text := '';
Edit5.Text := '';
Edit6.Text := '';
Edit7.Text := '';
Edit8.Text := '';
Edit9.Text := '';
Edit10.Text := '';
Edit11.Text := '';
Edit12.Text := '';
end;
end;

procedure TForm1.TutupFile1Click(Sender: TObject);
begin
DialogValue:= MessageDlg(Format(SwarningText, [NamaFile]), mtconfirmation,
[mbYes,mbNo,mbCancel],0);
Case DialogValue of
id_Yes:
begin
SimpanFile1Click (Sender);
Caption := 'Pipe 98';
TutupFile1.Visible := False;
SimpanFile1.Visible := False;
SimpanFileAs1.Visible := False;
DataPipa1.Visible := False;
DataLingkungan1.Visible := False;
Densitas1.Visible := False;
KondisiAnalisa1.Visible := False;
TampilkanHasil1.Visible := False;
SpeedButton1.Visible := False;
SpeedButton2.Visible := False;
SpeedButton4.Visible := False;
SpeedButton5.Visible := False;
SpeedButton6.Visible := False;
SpeedButton10.Visible := False;
SpeedButton11.Visible := False;
SpeedButton12.Visible := False;
end;
id_No:
begin
Caption := 'Pipe 98';
TutupFile1.Visible := False;
SimpanFile1.Visible := False;
SimpanFileAs1.Visible := False;
DataPipa1.Visible := False;
```

```
DataLingkungan1.Visible := False;  
Densitas1.Visible := False;  
KondisiAnalisa1.Visible := False;  
TampilkanHasil1.Visible := False;  
SpeedButton1.Visible := False;  
SpeedButton2.Visible := False;  
SpeedButton4.Visible := False;  
SpeedButton5.Visible := False;  
SpeedButton6.Visible := False;  
SpeedButton10.Visible := False;  
SpeedButton11.Visible := False;  
SpeedButton12.Visible := False;  
end;  
end;  
end;
```

```
procedure TForm1.SimpanFileAs1Click(Sender: TObject);  
begin  
Caption:='Pipe 98';  
SaveDialog1.FileName:='';  
if SaveDialog1.Execute then  
begin  
NamaFile:=SaveDialog1.FileName;  
Caption:=Caption+'['+NamaFile+']';  
SimpanFile1Click(sender);  
end;  
end;
```

```
procedure TForm1.SimpanFile1Click(Sender: TObject);  
begin  
if Caption:='Pipe 98' then  
SimpanFileAs1Click(sender)  
else  
begin  
AssignFile(GasFiles,NamaFile);  
Rewrite(GasFiles);  
With Form2 do  
begin  
Writeln(GasFiles,Lab1P.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit1P.Text);  
Writeln(GasFiles,Lab2P.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit2P.Text);  
Writeln(GasFiles,Lab3P.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit3P.Text);  
Writeln(GasFiles,Lab4P.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit4P.Text);  
Writeln(GasFiles,Lab5P.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit5P.Text);  
end;  
With Form3 do  
begin  
Writeln(GasFiles,Label2.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit1.Text);  
Writeln(GasFiles,Label3.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit2.Text);  
Writeln(GasFiles,Label4.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit3.Text);  
Writeln(GasFiles,Label5.Caption);  
Writeln(GasFiles,Edit4.Text);
```

```
Writeln(GasFiles,Label11.Caption);
Writeln(GasFiles>Edit5.Text);
Writeln(GasFiles,Label12.Caption);
Writeln(GasFiles>Edit6.Text);
Writeln(GasFiles,Label13.Caption);
Writeln(GasFiles>Edit7.Text);
Writeln(GasFiles,Label14.Caption);
Writeln(GasFiles>Edit8.Text);
Writeln(GasFiles,Label19.Caption);
Writeln(GasFiles>Edit9.Text);
end;
With Form4 do
begin
    Writeln(GasFiles,Angka);
end;
With Form5 do
begin
    Writeln(GasFiles,Nilai);
end;
With Form6 do
begin
    Writeln(GasFiles,Label22.Caption);
    Writeln(GasFiles,Label1.Caption);
    Writeln(GasFiles,Label2.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit1.Text);
    Writeln(GasFiles,Label3.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit2.Text);
    Writeln(GasFiles,Label4.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit3.Text);
    Writeln(GasFiles,Label5.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit4.Text);
    Writeln(GasFiles,Label7.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit5.Text);
    Writeln(GasFiles,Label6.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit6.Text);
    Writeln(GasFiles,Label14.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit7.Text);
    Writeln(GasFiles,Label15.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit8.Text);
    Writeln(GasFiles,Label16.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit9.Text);
    Writeln(GasFiles,Label17.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit10.Text);
    Writeln(GasFiles,Label18.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit11.Text);
    Writeln(GasFiles,Label19.Caption);
    Writeln(GasFiles>Edit12.Text);
end;
CloseFile(GasFiles);
end;
end;

procedure TForm1.BukaFile1Click(Sender: TObject);
begin
    NewInput1Click (Sender);
    Caption:='Pipe 98';
    OpenFileDialog1.FileName:='';
    If OpenFileDialog1.Execute then
    begin
```

```
NamaFile:=OpenDialog1.FileName;  
AssignFile(GasFiles>NamaFile);  
Reset(GasFiles);  
Caption:=Caption+'['+ NamaFile +']';
```

```
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label1.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form2.Edit1P.Text:= Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label2.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form2.Edit2P.Text:= Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label3.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form2.Edit3P.Text:= Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label4.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form2.Edit4P.Text:= Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label5.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form2.Edit5P.Text:= Tong;  
Form2.BitBtn1Click (Sender);
```

```
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label6.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form3.Edit1.Text := Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label7.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form3.Edit2.Text := Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label8.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form3.Edit3.Text := Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label9.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form3.Edit4.Text := Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label10.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form3.Edit5.Text := Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label11.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form3.Edit6.Text := Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label12.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form3.Edit7.Text := Tong;  
ReadLn(GasFiles,Ting);  
Form22.Label13.Caption := Ting;  
ReadLn(GasFiles,Tong);  
Form3.Edit8.Text := Tong;
```

```
ReadLn(GasFiles,Ting);
Form22.Label14.Caption := Ting;
ReadLn(GasFiles,Tong);
Form3.Edit9.Text := Tong;
Form3.BitBtn1Click (Sender);
```

```
With Form4 do
```

```
begin
```

```
  ReadLn(GasFiles,Angka);
```

```
  Case Angka of
```

```
    1: begin
```

```
      RadioButton1.Checked := True;
```

```
      RadioButton1.Color := clTeal;
```

```
      RadioButton1.Font.Color := clwhite;
```

```
    end;
```

```
    2: begin
```

```
      RadioButton2.Checked := True;
```

```
      RadioButton2.Color := clTeal;
```

```
      RadioButton2.Font.Color := clwhite;
```

```
    end;
```

```
    3: begin
```

```
      RadioButton3.Checked := True;
```

```
      RadioButton3.Color := clTeal;
```

```
      RadioButton3.Font.Color := clwhite;
```

```
    end;
```

```
    4: begin
```

```
      RadioButton4.Checked := True;
```

```
      RadioButton4.Color := clTeal;
```

```
      RadioButton4.Font.Color := clwhite;
```

```
    end;
```

```
  end;
```

```
  BitBtn1Click (Sender);
```

```
end;
```

```
With Form5 do
```

```
begin
```

```
  ReadLn(GasFiles,Nilai);
```

```
  Case Nilai of
```

```
    1: begin
```

```
      RadioButton1.Checked := True;
```

```
      RadioButton1.Color := clTeal;
```

```
      RadioButton1.Font.Color := clwhite;
```

```
    end;
```

```
    2: begin
```

```
      RadioButton2.Checked := True;
```

```
      RadioButton2.Color := clTeal;
```

```
      RadioButton2.Font.Color := clwhite;
```

```
    end;
```

```
    3: begin
```

```
      RadioButton3.Checked := True;
```

```
      RadioButton3.Color := clTeal;
```

```
      RadioButton3.Font.Color := clwhite;
```

```
    end;
```

```
  end;
```

```
  BitBtn1Click (Sender);
```

```
end;
```

```
CloseFile(GasFiles);
```

```
Form6.Button1Click (Sender);
```

```
end;
```

end;

```
procedure TForm1.SpeedButton9Click(Sender: TObject);
begin
  BukaFile1Click (Sender);
end;
```

```
procedure TForm1.SpeedButton10Click(Sender: TObject);
begin
  TutupFile1Click (Sender);
end;
```

```
procedure TForm1.SpeedButton11Click(Sender: TObject);
begin
  SimpanFile1Click (Sender);
end;
```

```
procedure TForm1.SpeedButton12Click(Sender: TObject);
begin
  SimpanFileAs1Click (Sender);
end;
```

```
procedure TForm1.SpeedButton13Click(Sender: TObject);
begin
  Keluar1Click (Sender);
end;
```

```
procedure TForm1.Cetak1Click(Sender: TObject);
begin
  Form21.ShowModal;
end;
```

```
procedure TForm1.SpeedButton14Click(Sender: TObject);
begin
  Cetak1Click (Sender);
end;
```

end.

```
unit Unit11:{data pipa}
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, Buttons, Unit20;
```

```
type
```

```
TForm2 = class(TForm)
```

```
Lab1P: TLabel;
```

```
Lab2P: TLabel;
```

```
Lab3P: TLabel;
```

```
Lab4P: TLabel;
```

```
Lab5P: TLabel;
```

```
Lab6P: TLabel;
```

```
Lab7P: TLabel;
```

```
Lab8P: TLabel;
```

```
Lab9P: TLabel;
```

```
Lab10P: TLabel;
```

```
Edit5P: TEdit;
```

```
Edit4P: TEdit;
```

```
Edit3P: TEdit;
```

```
Edit2P: TEdit;
```

```
Edit1P: TEdit;
```

```
BitBtn1: TBitBtn;
```

```
BitBtn2: TBitBtn;
```

```
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
```

```
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
Form2: TForm2;
```

```
D,t,tc,rhoc,rhog: Extended;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TForm2.BitBtn1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
D := Strtofloat (Edit1P.Text);
```

```
t := Strtofloat (Edit2P.Text);
```

```
tc:= Strtofloat (Edit3P.Text);
```

```
rhoc:= Strtofloat (Edit4P.Text);
```

```
rhog:= Strtofloat (Edit5P.Text);
```

```
end;
```

```
procedure TForm2.BitBtn2Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
close;
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit Unit12; {data lingkungan}
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Buttons, Unit20;
```

```
type
```

```
TForm3 = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Label6: TLabel;  
Label7: TLabel;  
Label8: TLabel;  
Label9: TLabel;  
Label10: TLabel;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Label13: TLabel;  
Label14: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Label18: TLabel;  
Label19: TLabel;  
Label20: TLabel;
```

```
Edit4: TEdit;
```

```
Edit3: TEdit;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Edit8: TEdit;
```

```
Edit7: TEdit;
```

```
Edit6: TEdit;
```

```
Edit5: TEdit;
```

```
Edit9: TEdit;
```

```
BitBtn1: TBitBtn;
```

```
BitBtn2: TBitBtn;
```

```
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
```

```
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
Form3: TForm3;
```

```
H1,Prd1,depth1,Ua1,H100,Prd100,depth100,Ua100,Tiki : Extended;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TForm3.BitBtn1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
H1 := Strtofloat (Edit1.Text);
```



```
Prd1 := Strtofloat (Edit2.Text);
depth1 := Strtofloat (Edit3.Text);
Ua1 := Strtofloat (Edit4.Text);
H100 := Strtofloat (Edit5.Text);
Prd100 := Strtofloat (Edit6.Text);
depth100 := Strtofloat (Edit7.Text);
Ua100 := Strtofloat (Edit8.Text);
Tiki := Strtofloat (Edit9.Text);
end;

procedure TForm3.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

end.
```

```
unit Unit13:{densitas}

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons;

type
  TForm4 = class(TForm)
    RadioButton1: TRadioButton;
    RadioButton2: TRadioButton;
    RadioButton3: TRadioButton;
    RadioButton4: TRadioButton;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
    procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
    procedure RadioButton3Click(Sender: TObject);
    procedure RadioButton4Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);

  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form4: TForm4;
  rhocc: Extended;
  angka: Integer;

implementation

{$R *.DFM}

type
  Tkomponen = (Densitas1,Densitas2,Densitas3,Densitas4);

var
  Komponen : Tkomponen;

procedure TForm4.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
  Komponen := Densitas1;
end;

procedure TForm4.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
  Komponen := Densitas2;
end;

procedure TForm4.RadioButton3Click(Sender: TObject);
begin
  Komponen := Densitas3;
```

```
end;

procedure TForm4.RadioButton4Click(Sender: TObject);
begin
Komponen := Densitas4;
end;

procedure TForm4.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
case Komponen of
Densitas1: begin
    RadioButton1.Color := clTeal;
    RadioButton1.Font.Color := clwhite;
    rhocc := 140;
    angka := 1;
    end;
Densitas2: begin
    RadioButton2.Color := clTeal;
    RadioButton2.Font.Color := clwhite;
    rhocc := 160;
    angka := 2;
    end;
Densitas3: begin
    RadioButton3.Color := clTeal;
    RadioButton3.Font.Color := clwhite;
    rhocc := 190;
    angka := 3;
    end;
Densitas4: begin
    RadioButton4.Color := clTeal;
    RadioButton4.Font.Color := clwhite;
    rhocc := 200;
    angka := 4;
    end;
end;
end;
procedure TForm4.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

end.
```

```
unit Unit14;{kondisi analisa}
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Buttons;
```

```
type
```

```
TForm5 = class(TForm)  
  RadioButton1: TRadioButton;  
  RadioButton2: TRadioButton;  
  RadioButton3: TRadioButton;  
  BitBtn1: TBitBtn;  
  BitBtn2: TBitBtn;  
  procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton3Click(Sender: TObject);  
  procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);  
  procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);  
private  
  { Private declarations }  
public  
  { Public declarations }  
end;
```

```
var
```

```
Form5: TForm5;  
nilai: Integer;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
type
```

```
Tkondisi = (Analisa1,Analisa2,Analisa3);
```

```
var
```

```
Kondisi : Tkondisi;
```

```
procedure TForm5.RadioButton1Click(Sender: TObject);  
begin  
  Kondisi:= Analisa1;  
end;
```

```
procedure TForm5.RadioButton2Click(Sender: TObject);  
begin  
  Kondisi:= Analisa2;  
end;
```

```
procedure TForm5.RadioButton3Click(Sender: TObject);  
begin  
  Kondisi:= Analisa3;  
end;
```

```
procedure TForm5.BitBtn1Click(Sender: TObject);  
begin  
  case Kondisi of  
    Analisa1: begin  
      RadioButton1.Color := clTeal;  
      RadioButton1.Font.Color := clwhite;
```



```
        nilai:= 1;
    end;
Analisa2: begin
    RadioButton2.Color := clTeal;
    RadioButton2.Font.Color := clwhite;
    nilai:= 2;
    end;
Analisa3: begin
    RadioButton3.Color := clTeal;
    RadioButton3.Font.Color := clwhite;
    nilai:= 3;
    end;
end;
end;
procedure TForm5.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
    Close;
end;

end.
```

```
unit Unit15;{hitung & tampilkan}
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Unit11, Unit12, Unit13, Unit14, unit16, unit17, Buttons,  
Unit20;
```

```
type
```

```
TForm6 = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Label6: TLabel;  
Label7: TLabel;  
Label8: TLabel;  
Label9: TLabel;  
Label10: TLabel;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Label13: TLabel;  
Label14: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Label18: TLabel;  
Label19: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Edit3: TEdit;
```

```
Edit4: TEdit;
```

```
Edit5: TEdit;
```

```
Edit6: TEdit;
```

```
Edit7: TEdit;
```

```
Edit8: TEdit;
```

```
Edit9: TEdit;
```

```
Edit10: TEdit;
```

```
Edit11: TEdit;
```

```
Edit12: TEdit;
```

```
BitBtn1: TBitBtn;
```

```
Button1: TButton;
```

```
procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
Form6: TForm6;
```

```
B,F,K,L,M,N,O,P,R,U,V,W,X,Z,Dia,D1,SGins,SGsink,SGtes : Extended;
```

tcc,Ue,Uw,Ftot,FI,FD,FL,Re,Re1,Re2,Cd,Cl,Ci,Wsa,Wac,Wcc,Wisi,
 Wa : Extended;
 Wsub,H,Prd,Depth,Ua,miu,rhoisi : Extended;
 teta,Fs,TQ : Extended;

const

g = 32.185;
 rho = 2;
 nu = 1E-5;
 SGsea = 1.025;
 SGsoil = 2.168;
 C = 250;
 Pi = 3.14;
 A = 0.083;

implementation

{SR *.DFM}

function Pangkat (X,N : Extended): Extended;

begin

Pangkat := Exp(Ln(X) * N);

end;

function SinD (X : Extended): Extended;

begin

SinD := Sin (X/57.2958);

end;

function CosD (X : Extended): Extended;

begin

CosD := Cos (X/57.2958);

end;

function SinhD (X : Extended): Extended;

begin

SinhD := (Exp(X) - Exp(-X))/2;

end;

procedure SGravity;

begin

SGsink := SGsoil + ((2 * C)/(62.428 * Dia));
 SGins := (Wa + (0.25 * 0.076 * Pi * SQR(P) * SQR(A)))/
 (62.428 * (0.25 * Pi * SQR(Dia)));
 SGtes := (Wa + (0.25 * 64 * Pi * SQR(P) * SQR(A)))/
 (62.428 * (0.25 * Pi * SQR(Dia)));

end;

procedure Berat;

begin

Wsa := 2.68 * (SQR(D) - SQR(P));
 Wac := O * Rhoc * (SQR(F) - SQR(D));
 Wcc := O * Rhocc * (SQR(D1) - SQR(F));
 B := 0.35 * SQR(D1);
 Wisi := 0.25 * rhoisi * pi * SQR(P) * SQR(A);
 Wa := Wsa + Wac + Wcc;
 Wsub := Wa + Wisi - B;

end;

procedure Hitung_Re;


```

begin
  Re := (Ue * Dia)/nu;
  Re1 := Re/(3E5);
  Re2 := Re/(5E5);

  if Re<50000 then
  begin
    Cd := 1.3; Cl := 1.5; Ci := 2;
  end;

  if (Re>50000) and (Re<100000) then
  begin
    Cd := 1.2; Cl := 1; Ci := 2;
  end;

  if (Re>100000) and (Re<250000) then
  begin
    Cd := 1.53 - Re1; Cl := 1.2 - Re2; Ci := 2;
  end;

  if (Re>250000) and (Re<500000) then
  begin
    Cd := 0.7; Cl := 0.7; Ci := 2.5 - Re2;
  end;

  if Re>500000 then
  begin
    Cd := 0.7; Cl := 0.7; Ci := 1.5;
  end;

  procedure Hitung_Uarus;
  begin
    W := pangkat(TQ,0.286);
    Ue := Ua * (SQRT(0.778 * W));
  end;

  procedure Hitung_Ugel;
  begin
    Uw := (Z / (Prd * R)) * CosD (teta) +
      ((3 * SQR(Z)) / (4 * Prd * L * SQR(R) * SQR(R))) * CosD (2 * teta);
  end;

  procedure Hitung_Gaya1;
  begin
    Hitung_Uarus;
    Hitung_Re;
    FD := 0.5 * Rho * Cd * Dia * SQR(Ue);
    FL := 0.5 * Rho * Cl * Dia * SQR(Ue);
    if Depth<400 then
    begin
      U := (SQR(Pi) * H) / SQR(Prd);
      V := ((2 * U) / R) * SinD(teta) +
        ((3 * U * Z) / (L * SQR(R) * SQR(R))) * SinD(2*teta);
    end
    else
    begin
      V := 0;
    end;
  end;

```

```

end;

FL := 0.25 * Rho * Ci * Pi * SQR(Dia) * V;
Ftot := FL + (((FD + FL) * 1.1)/Miu);
end;

procedure Hitung_Gaya2;
begin
  Fs := 0;
  Hitung_Ugel;
  Ua := Ua * CosD(teta);
  Hitung_Uarus;
  Ue := Ue + Uw;
  Hitung_Re;
  FD := 0.5 * Rho * Cd * Dia * SQR(Ue);
  FL := 0.5 * Rho * Ci * Dia * SQR(Ue);
  U := (SQR(Pi) * H) / SQR(Prd);
  V := ((2 * U) / R) * SinD(teta) +
  ((3 * U * Z) / (L * SQR(R) * SQR(R)) * SinD(2*teta));
  FI := 0.25 * Rho * Ci * Pi * SQR(Dia) * V;
  Ftot := FL + (((FD + FI) * 1.1)/Miu);

  while Ftot > Fs do
    begin
      Fs := Ftot;
      teta := teta + 1;
      Hitung_Ugel;
      Ua := Ua * CosD(teta);
      Hitung_Uarus;
      Ue := Ue + Uw;
      Hitung_Re;
      FD := 0.5 * Rho * Cd * Dia * SQR(Ue);
      FL := 0.5 * Rho * Ci * Dia * SQR(Ue);
      U := (SQR(Pi) * H) / SQR(Prd);
      V := ((2 * U) / R) * SinD(teta) +
      ((3 * U * Z) / (L * SQR(R) * SQR(R)) * SinD(2*teta));
      FI := 0.25 * Rho * Ci * Pi * SQR(Dia) * V;
      Ftot := FL + (((FD + FI) * 1.1)/Miu);
    end;
    Ftot := Fs;
  end;

procedure operasi;

begin
case nilai of
1: begin
  H := H1;
  Prd := Prd1;
  depth := depth1;
  Ua := Ua1;
  miu := 0.5;
  rhoisi := 0.076;
end;
2: begin
  H := H1;
  Prd := Prd1;
  depth := depth1;
  Ua := Ua1;

```

```

    miu := 0.6;
    rhoisi := 64;
end;
3: begin
    H := H100;
    Prd := Prd100 ;
    depth := depth100;
    Ua := Ua100;
    miu := 0.6;
    rhoisi := rhog;
end;
end;
tcc := 0.5;
teta := 0;
SGins := 0;
Wsub := 0;
Ftot := 0.1;

while (Wsub<Ftot) or (SGins<1.025) do
begin
tcc := tcc + 0.5;
L := (g * sqr(Prd))/(2 * Pi);
M := depth/L;
K := (2 * Pi)/L;
X := K * depth;
Z := Pi * H;
R := SinhD (x);
D1 := D + (2 * tc) + (2 * tcc);
Dia := D1 * A;
O := Pi/576;
TQ := Dia/Tiki;
F := D + (2 * tc);
P := D - (2 * t);

if M<0.05 then
begin
    Wsub := 8;
    Ftot := 7;
    SGins:=11;
end;

if (M>0.05) and (M<0.5) then
begin
    Hitung_Gaya2;
end
else
begin
    Hitung_Gaya1;
end;

Berat;
SGravity;
end;
end;

procedure TForm6.Button1Click(Sender: TObject);
begin
operasi;

```



```
if tcc>6.1 then
begin
Form7.ShowModal;
end;

if M<0.05 then
begin
Label1.Caption := 'Termasuk Perairan Dangkal';
Form8.ShowModal;
end;
if M>0.5 then
begin
Label1.Caption := 'Termasuk Perairan Dalam';
end
else
begin
Label1.Caption := 'Termasuk Perairan Menengah';
end;

case nilai of
1: begin
Label22.Caption := 'KONDISI INSTALASI';
end;
2: begin
Label22.Caption := 'KONDISI HYDROSTATIC TES';
end;
3: begin
Label22.Caption := 'KONDISI OPERASI';
end;
end;

Edit1.Text := Floattostr (Ue);
Edit2.Text := Floattostr (tcc);
Edit3.Text := Floattostr (unit13.rhocc);
Edit4.Text := Floattostr (FD);
Edit5.Text := Floattostr (FL);
Edit6.Text := Floattostr (FI);
Edit7.Text := Floattostr (Ftot);
Edit8.Text := Floattostr (wsub);
Edit9.Text := Floattostr (SGsink);
Edit10.Text := Floattostr (SGtes);
Edit11.Text := Floattostr (SGsea);
Edit12.Text := Floattostr (SGins);
end;

procedure TForm6.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

end.
```

```
unit Unit16;{warning densitas kekecilan}
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TForm7 = class(TForm)
```

```
Image1: TImage;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
end;
```

```
var
```

```
Form7: TForm7;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
end.
```

```
unit Unit17;{warning zone perairan dangkal}
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TForm8 = class(TForm)
```

```
Image1: TImage;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
end;
```

```
var
```

```
Form8: TForm8;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
end.
```

```
unit Unit18;{identitas}

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TForm10 = class(TForm)
    Image1: TImage;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form10: TForm10;

implementation

{$R *.DFM}

end.
```



```
unit Unit19;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ExtCtrls, Menus, Buttons;
```

```
type
```

```
TForm19 = class(TForm)  
    MainMenu1: TMainMenu;  
    File1: TMenuItem;  
    Close1: TMenuItem;  
    Panel1: TPanel;  
    Memo1: TMemo;  
    SpeedButton1: TSpeedButton;  
    procedure Close1Click(Sender: TObject);  
    procedure FormCreate(Sender: TObject);  
    procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);  
private  
    { Private declarations }  
public  
    { Public declarations }  
end;
```

```
var
```

```
Form19: TForm19;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TForm19.Close1Click(Sender: TObject);  
begin  
    Close;  
end;
```

```
procedure TForm19.FormCreate(Sender: TObject);  
begin  
    Memo1.Lines.LoadFromFile('baca.txt');  
end;
```

```
procedure TForm19.SpeedButton1Click(Sender: TObject);  
begin  
    Close;  
end;  
end.
```

```
unit Unit21; {cetak hasil}
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
ComCtrls, StdCtrls, ExtCtrls, Menus, Unit11, Unit12, Unit13, Unit14, Unit15,  
Buttons, Printers;
```

```
type
```

```
TForm21 = class(TForm)  
  MainMenu1: TMainMenu;  
  Buka1: TMenuItem;  
  Berkas1: TMenuItem;  
  PrinterSetup1: TMenuItem;  
  Print1: TMenuItem;  
  N1: TMenuItem;  
  Close1: TMenuItem;  
  Panel1: TPanel;  
  Memo1: TMemo;  
  StatusBar1: TStatusBar;  
  SpeedButton1: TSpeedButton;  
  SpeedButton2: TSpeedButton;  
  SpeedButton3: TSpeedButton;  
  SpeedButton4: TSpeedButton;  
  PrinterSetupDialog1: TPrinterSetupDialog;  
  PrintDialog1: TPrintDialog;  
  OpenDialog1: TOpenDialog;  
  procedure Buka1Click(Sender: TObject);  
  procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);  
  procedure PrinterSetup1Click(Sender: TObject);  
  procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);  
  procedure Print1Click(Sender: TObject);  
  procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);  
  procedure Close1Click(Sender: TObject);  
  procedure SpeedButton4Click(Sender: TObject);  
private  
  { Private declarations }  
public  
  { Public declarations }  
end;
```

```
var
```

```
Form21: TForm21;  
NamaFile: String;
```

```
implementation
```

```
 {$R *.DFM}
```

```
procedure TForm21.Buka1Click(Sender: TObject);  
begin  
  Caption:='Pipe 98';  
  if OpenDialog1.Execute then  
  begin  
    NamaFile:=OpenDialog1.FileName;  
    Memo1.Lines.LoadFromFile(NamaFile);  
    Caption:=Caption+'['+ NamaFile +']';  
  end;
```

end;

```
procedure TForm21.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
  Buka1Click (Sender);
end;
```

```
procedure TForm21.PrinterSetup1Click(Sender: TObject);
begin
  PrinterSetupDialog1.Execute;
end;
```

```
procedure TForm21.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
begin
  PrinterSetup1Click (Sender);
end;
```

```
procedure TForm21.Print1Click(Sender: TObject);
var
  Line : Integer;
  PrintText : System.Text;
begin
  if PrintDialog1.Execute then
  begin
    AssignPm (PrintText);
    Rewrite (PrintText);
    Printer.Canvas.Font := Memo1.Font;
    For Line := 0 to Memo1.Lines.Count - 1 do
      WriteLn (PrintText, Memo1.Lines[Line]);
    System.Close (PrintText);
  end;
end;
```

```
procedure TForm21.SpeedButton3Click(Sender: TObject);
begin
  Print1Click (Sender);
end;
procedure TForm21.Close1Click(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;
```

```
procedure TForm21.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
begin
  Close1Click (Sender);
end;
```

end.

{ isi dari file baca.txt }

PETUNJUK PEMAKAIAAN PROGRAM ANALISA STABILITAS SUBSEA PIPELINE

Saya ucapkan terima kasih atas kepercayaan anda karena telah menggunakan program ini. Ada beberapa hal yang akan dikemukakan disini untuk memperjelas pemakaian program. Pada mulanya program ini dibuat untuk menghitung syarat kestabilan pipa gas bawah laut. Mengingat pipa gas dan pipa minyak memiliki kemiripan dalam hal pemasangannya maka saya kira program ini juga dapat digunakan untuk menghitung syarat kestabilan pipa minyak bawah laut. Hal- hal lain yang perlu dijelaskan adalah :

Batasan Masalah

- * Analisa ini hanya dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan desain pipa bawah laut yang memenuhi persyaratan kestabilan. Penentuan rute pipa di dasar laut tidak dibahas di sini.
- * Dasar laut memiliki kemiringan 0 derajat (rata).
- * Analisa dilakukan berdasarkan atas peraturan yang dikeluarkan oleh Det Norske Veritas (DnV) 1996.
- * Teori Gelombang yang digunakan dalam perhitungan ini adalah teori gelombang Stokes Orde 2.

Memasukkan Nilai

Cara penulisan nilai yang benar adalah sebagai berikut :

- * -0.7875
- * 1234.567

Setelah anda menuliskan nilai pada satu kotak, maka untuk mengisi kotak selanjutnya anda dapat memindahkan kursor pada kotak selanjutnya dengan menggunakan mouse. Setelah semua nilai telah dimasukkan, tekan tombol OK agar nilai dapat diproses, atau tekan tombol Cancel jika anda bermaksud untuk mengganti lagi nilai-nilai yang telah ada (nilai yang ada belum diproses).

Memberikan Pilihan

Pada form Densitas dan Kondisi Operasi program ini memberikan pilihan kepada anda untuk dipilih. Anda dapat memilih salah satu pilihan dengan meng-klik bagian lingkaran salah satu pilihan. Apabila pada lingkaran telah ada noktah hitam di dalamnya maka anda telah memilih pilihan tersebut. Setelah itu tekan tombol OK untuk memprosesnya atau tombol Cancel untuk membatalkannya. Anda hanya dapat memilih satu pilihan saja dalam satu kali pemrosesan.

Menampilkan Hasil

Setelah semua data telah anda masukkan dengan benar, anda dapat melihat hasilnya pada bagian Tampilkan Hasil. Hasil akan tampak apabila anda meng-klik tombol tampilkan.

Pada Form Data Lingkungan terdapat pertanyaan tentang ketinggian tempat pengambilan data arus dari permukaan dasar laut. Sebagai informasi, biasanya

data arus diambil dari ketinggian 1 feet dari permukaan dasar laut. Anda dapat mengganti nilai ini sesuai dengan data anda.

Anda dapat melakukan serangkaian proses perhitungan dengan menggunakan data yang berbeda-beda. Sebagai contoh, setelah melakukan satu kali perhitungan, anda menginginkan kembali perhitungan stabilitas dengan kondisi analisa yang berbeda dari yang pertama tetapi dengan menggunakan data pipa, lingkungan, dan densitas concrete coating yang sama. Anda cuma merubah pilihan kondisi yang anda inginkan dan anda dapat melihat tampilan hasil yang baru pada form Tampilkan Hasil. Sebelum anda tekan tombol Tampilkan maka hasil yang tampak pada form tersebut adalah hasil proses terdahulu.

Selain itu pula anda dapat menyimpan data masukan dan hasil perhitungan ke dalam suatu file dengan extension .txt dengan menggunakan fasilitas simpan file atau simpan file as. Setelah anda simpan, anda dapat membuka kembali file tersebut dengan fasilitas buka file.

Apabila data masukan dan proses perhitungan telah anda simpan dalam suatu file, anda dapat mencetak file tersebut ke atas selembar kertas dengan menggunakan fasilitas print. Untuk memilih printer, kertas yang digunakan, dan mengatur hal-hal yang berkaitan dengan proses mencetak file, anda dapat menggunakan fasilitas printer setup.

Selamat menggunakan program ini.

-----End of readme-----

